

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

INSTRUÇÕES PARA O USO DA APARELHAGEM  
DE OBSERVAÇÃO DE BARRAGENS

Lisboa, Maio de 1963



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS  
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇO DE BARRAGENS  
DIVISÃO DE OBSERVAÇÃO

Proc.43/44

INSTRUÇÕES PARA O USO DA APARELHAGEM  
DE OBSERVAÇÃO DE BARRAGENS

RELATÓRIO

TEXTOS

Lisboa, Maio de 1963

# Í N D I C E

Pág.

## CAPÍTULO I - GENERALIDADES

1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - OBSERVAÇÕES NORMALMENTE EFECTUADAS .....	3

## CAPÍTULO II - MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS RELATIVOS DE PONTOS DA BARRAGEM POR MEIO DE FIOS DE PRUMO .....	1
2.1 - Fio de prumo direito .....	1
2.2 - Fio de prumo invertido .....	3
2.3 - Coordinómetro óptico .....	4
2.4 - Telecoordinómetro de indução .....	7
2.4.1 - Constituição e funcionamento .....	7
2.4.2 - Instruções para a montagem .....	9
2.4.3 - Instruções para o transporte .....	10
2.4.4 - Esquemas .....	10

## CAPÍTULO III - MEDIÇÃO DE ROTAÇÕES

1 - CLINÓMETRO DE NÍVEL DE BOLHA .....	1
2 - FOTOCLINÓGRAFO .....	5
2.1 - Constituição do fotoclínógrafo .....	5
2.2 - Descrição das diferentes partes do fotoclínógrafo .....	6
2.3 - Fórmula de cálculo .....	9

2.4 - Manejo do fotoclinógrafo .....	10
2.5 - Interpretação dos clinogramas .....	12

CAPÍTULO IV - MEDIÇÃO SIMULTÂNEA DE DESLOCAMENTOS E  
ROTAÇÕES

1 - BARRA DE FUNDAÇÃO .....	1
-----------------------------	---

CAPÍTULO V - MOVIMENTO DE JUNTAS

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - MEDIÇÕES NO INTERIOR DO BETÃO .....	3
2.1 - Medidor de juntas Galileo .....	3
2.2 - Medidor de juntas Carlson .....	4
3 - MEDIÇÕES A SUPERFÍCIE DAS BARRAGENS .....	6
3.1 - Alongâmetro Whittmore .....	7
3.2 - Alongâmetro Marion .....	10
3.3 - Fixação das bases .....	11
3.4 - Dedução das expressões de cálculo dos movimentos das juntas	12

CAPÍTULO VI - MEDIÇÃO DA HUMIDADE

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - TELEHIGRÔMETRO BRASEY .....	3
3 - MEDIDOR DE HUMIDADE DE PLACAS .....	5
4 - TELEHIGRÔMETRO GEOELÉCTRICO .....	7
5 - TELEHIGRÔMETROS DE CORDA VIBRANTE .....	11



## CAPÍTULO VII - MEDIÇÃO DA PRESSÃO DA ÁGUA NOS POROS DO BETÃO

1 - MEDIDOR DE PRESSÃO CARLSON ("Carlson pore-pressure meter").....	1
---	---

## CAPÍTULO VIII - MEDIÇÃO DE SUB-PRESSÕES

1 - TOMADAS DE PRESSÃO .....	1
------------------------------	---

## CAPÍTULO IX - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - TERMÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉCTRICA .....	1
3 - PARES TERMOELÉCTRICOS .....	5
4 - POTENCIÓMETRO LEEDS & NORTHRUP Co. PORTÁTIL DE PRECISÃO Nº.8662	10
4.1 - Indicações gerais .....	10
4.2 - Ligações .....	11
4.3 - Focalização do índice sobre a escala .....	12
4.4 - Ajustamento do zero do galvanómetro .....	14
4.5 - Ajustamento da corrente no circuito potenciométrico .....	14
4.6 - Compensação da f.e.m. de contacto .....	16
4.7 - Medida da f.e.m. ....	17
4.8 - Leituras .....	19
4.9 - Dados sobre a pilha padrão .....	19
4.10 - Verificação de pilhas padrão .....	20
4.11 - Pilhas secas .....	20
4.12 - Galvanómetro .....	21
5 - POTENCIÓMETRO PORTÁTIL W.G. PYE Nº. 7556 .....	23
5.1 - Descrição .....	23
5.2 - Medição da força electromotriz .....	23

5.3 - Verificação do aparelho por comparação com um par termo-eléctrico padrão .....	24
5.4 - Características do aparelho .....	25
6 - MONTAGENS ESPECIAIS PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS .....	26
6.1 - Medições à superfície .....	26
6.2 - Medições junto dos paramentos, no ar e na água .....	26
6.3 - Medições na água da albufeira .....	27

## CAPÍTULO X - MEDIÇÃO DE EXTENSÕES

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - EXTENSÓMETROS DE CORDA VIBRANTE .....	3
2.1 - Princípio dos aparelhos de medida .....	5
2.1.1 - Generalidades .....	5
2.1.2 - Identificação das figuras de Lissajous produzidas pela composição de duas vibrações rectangulares .....	7
2.1.3 - Relação entre as extensões medidas com a elipse e as ten- sões medidas com as harmónicas .....	12
2.2 - Aparelho de medida Maihak .....	14
2.3 - Aparelho de medida Télémac (Coyne) .....	21
2.4 - Aparelho de medida Electrom .....	25
3 - EXTENSÓMETROS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	26
3.1 - Extensómetros Carlson de pequena base, tipo SA-10 .....	26
3.2 - Extensómetro eléctrico de grande base .....	30
3.3 - Extensómetro para armadura .....	32

## CAPÍTULO XI - MEDIÇÃO DIRECTA DE TENSÕES

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - TENSÓMETRO CARLSON .....	1

## CAPÍTULO XII - APARELHO DE MEDIÇÃO CARLSON

1 - GENERALIDADES .....	1
2 - OPERAÇÕES DE LEITURA .....	2

## CAPÍTULO XIII - MEDIÇÃO DO MÓDULO DE ELAS-

### TICIDADE EM LABORATÓRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - EXTENSÓMETROS HUGGENBERGER .....	2
2.1 - Tipos de extensómetros .....	3
2.2 - Técnica de utilização .....	4
2.3 - Sistemas de montagem .....	5
3 - DEFLECTÓMETRO STOPPANI .....	6
3.1 - Princípio de funcionamento e características .....	6
3.2 - Sistema de montagem .....	6
4 - ALONGAMETRO DE MILÉSIMOS .....	8
4.1 - Princípio de funcionamento e características .....	8
4.2 - Técnica de utilização .....	8

CAPÍTULO XIV - MEDIÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO  
BETÃO "IN SITU"

1 - GENERALIDADES .....	1
1.1 - Objectivo dos ensaios .....	1
1.2 - Fundamentos teóricos .....	1
1.3 - Limitações do método .....	3
2 - O APARELHO .....	3
2.1 - Descrição .....	3
2.2 - Operação .....	8
2.3 - Manutenção .....	10
2.4 - Constituição .....	12
2.4.1 - Oscilador padrão .....	12
2.4.2 - Multivibrador de comando .....	12
2.4.3 - Gerador de varrimento .....	13
2.4.4 - Circuito de atraso variável - medição de tempo	14
2.4.5 - Atraso fixo do sinal de referência	15
2.4.6 - Atraso fixo do impulso de transmissão	16
2.4.7 - Amplificadores de transmissão e recepção	16
3 - OS ENSAIOS .....	16
3.1 - Preparação .....	16
3.2 - Execução .....	18
3.3 - Elaboração e interpretação dos resultados ,.....	19

## XV - COLOCAÇÃO DA APARELHAGEM

1 - FIO DE PRUMO DIREITO .....	1
2 - FIO DE PRUMO INVERTIDO .....	1
3 - BASES DE CLINÓMETRO .....	2
4 - BARRA DE FUNDAÇÃO .....	3
5 - MEDIDORES DE JUNTAS CARLSON .....	3
6 - BASES DE ALONGÂMETRO .....	4
7 - MEDIDORES DE HUMIDADE .....	4
7.1 - Medidor de humidade de placas .....	4
7.2 - Telehigrómetro geoelectrico .....	5
7.3 - Telehigrómetro de corda vibrante .....	5
8 - MEDIDOR DE PRESSÃO CARLSON ("Carlson Pore-Pressure Meter") .	5
9 - TOMADAS DE PRESSÃO .....	5
10 - TERMÓMETROS E PARES TERMOELÉCTRICOS .....	6
10.1 - No interior do betão .....	6
10.2 - Nos paramentos, no ar e na água .....	6
10.3 - Na água da albufeira .....	6
11 - EXTENSÓMETROS .....	7
11.1 - Extensómetros Carlson ("Carlson strain-meter type SA-10")	7
11.2 - Extensómetros C-30 e de dupla corda .....	8
11.3 - Extensómetros de grande base .....	8
11.4 - Extensómetros para armaduras .....	9
12 - TENSÓMETRO CARLSON ("Carlson Stress-Meter") .....	9
12.1 - Instruções do "Bureau of Reclamation" .....	9
12.2 - Instruções do fabricante .....	10
12.3 - Instruções do L.N.E.C. ....	12

CAPÍTULO XVI - LIGAÇÕES DOS APARELHOS EMBEBIDOS  
NO BETÃO

1 - CABOS UTILIZADOS .....	1
✓ 1.1 - Aparelhagem Carlson .....	1
1.2 - Extensómetros de corda vibrante C-30 .....	1
1.3 - Extensómetros de dupla corda vibrante .....	2
✓ 1.4 - Termómetros de resistência .....	2
1.5 - Par termoeléctrico .....	3
✓ 1.6 - Medidores de humidade .....	3
1.6.1 - Medidor de humidade de placas e telehigrómetro de corda vi- brante .....	3
1.6.2 - Telehigrómetro geoelectrico .....	3
2 - ESPECIFICAÇÕES DO "BUREAU OF RECLAMATION" PARA CABOS DE TRÊS E QUATRO CONDUTORES MULTIFILARES DE COBRE .....	3
2.1 - Objectivo .....	3
2.2 - Descrição geral .....	4
2.3 - Condutores .....	4
2.4 - Isolamento .....	5
2.5 - Ensaio físicos e ensaios de envelhecimento acelerados do iso- lamento .....	5
2.6 - Ensaio eléctricos dos condutores .....	7
2.7 - Entrançar os condutores .....	8
2.8 - Revestimento .....	8
2.9 - Ensaio físicos e ensaios de envelhecimento acelerados do re- vestimento .....	8
2.10 - Ensaio físicos do cabo acabado .....	9

2.11 - Ensaio eléctricos do cabo acabado .....	9
2.12 - Método de fornecimento .....	10
2.13 - Inspeção e ensaios .....	10
2.14 - Garantia .....	11
3 - EMENDAS DOS CABOS .....	12
3.1 - Generalidades .....	12
3.2 - Emenda com caixa de junção .....	12
3.3 - Emenda sem caixa de junção, segundo instruções do "Bureau of Reclamation" .....	12
3.4 - Emenda utilizando resina sintética .....	14
4 - COLOCAÇÃO E TRAJECTÓRIA DOS CABOS .....	16
5 - LIGAÇÃO AOS QUADROS DE LEITURA .....	16

ANEXO - SIMBOLOGIA DA APARELHAGEM DE OBSERVAÇÃO

INSTRUÇÕES PARA A COLOCAÇÃO, LEITURA E MANUTENÇÃO DA  
APARELHAGEM DE OBSERVAÇÃO DE BARRAGENS

CAP. I - GENERALIDADES

1 - INTRODUÇÃO

Durante o período, já longo, de actividade do L.N.E.C. na observação do comportamento de barragens, centrais subterrâneas e condutas forçadas, tem-se evidenciado, várias vezes, a necessidade de se dispor de um "Manual da Observação" no qual fosse ficando arquivada a experiência adquirida. O trabalho que agora se apresenta não é ainda esse Manual, mas simplesmente, uma compilação das descrições da variada aparelhagem de observação e das instruções para colocação, leitura e manutenção dessa aparelhagem, desenvolvidas ao longo do tempo, com a finalidade de as concentrar num único volume acessível a qualquer pessoa que pretenda informar-se sobre os métodos de observação em uso entre nós. Este trabalho não substitui uma das peças fundamentais ao pretender-se fazer a observação de uma obra — o plano de observação dessa obra — mas será útil como complemento desse plano e como meio de instruir o pessoal novo no desempenho das diferentes tarefas postas pela observação de uma obra.

Nestas condições, todas as indicações relativas à localização de aparelhagem, sua ligação às centrais de leitura, localização destas e seu desenho, medições várias, programas de leitura, ensaios de campo e de laboratório a efectuar etc., deverão figurar no plano de observação



figurando, porém todas as informações de natureza geral e comuns a to das as observações no presente trabalho.

Como se referiu atrás, uma das finalidades do presente trabalho é a de melhorar as condições de treinamento de novo pessoal admitido ao serviço do Laboratório e do pessoal das Empresas encarregado de fazer as leituras depois da obra concluída.

É indispensável para a boa realização da observação duma barragem, que as leituras efectuadas no campo, pelos leitores destacados para o efeito, sejam correctamente realizadas, para o que se devem eliminar to das as causas de erro.

Para atingir tal objectivo impõe-se um conhecimento profundo de cada aparelho de medida ou de leitura, da sua constituição, da sua manipulação, das possíveis causas de avaria, das suas possibilidades e dos pormenores relativos à sua colocação. Ora, por vezes isso não se verifica e assim cometem-se erros que se traduzem na má qualidade das leituras efectuadas.

Na eliminação desses erros, fortuitos ou sistemáticos está uma das principais razões da elaboração deste trabalho, no qual se fará para cada determinação ou leitura a realizar, a enumeração dos diversos aparelhos para esse fim destinados, bem como a sua descrição e modo de operar.

Será bem gasto todo o tempo que se venha a dispender com os diversos operadores no sentido de os fazer realizar bastantes leituras experimentais com os diversos aparelhos de leitura que a seguir se descrevem, pois só assim se poderão eliminar os erros que tão frequentemente se verificam, e que muito embora sejam por vezes detectados no LNEC por, evidentemente, grosseiros, outras vezes fazem perder muitas horas por parte de quem é encarregado da interpretação dos resultados, na tenta-

tiva de explicar e compreender a razão do aparecimento de valores absolutamente inesperados.

## 2 - OBSERVAÇÕES NORMALMENTE EFECTUADAS NAS BARRAGENS

As observações normalmente efectuadas podem classificar-se nos se seguintes grupos:

- a) Determinação das solicitações;
- b) Determinação do efeito das solicitações;
- c) Determinação das propriedades mecânicas do betão "in situ";
- d) Determinação das propriedades do betão em laboratório.

Far-se-à, em seguida, referência às seguintes medições:

- Medição de deslocamentos de pontos da barragem ou da fundação;
- Medição de rotações;
- Medição de deslocamentos e rotações simultaneamente;
- Medição do movimento de juntas;
- Medição da humidade;
- Medição da pressão da água nos poros do betão;
- Medição da sub-pressão;
- Medição da temperatura;
- Medição de extensões;
- Medição de tensões;
- Medição do módulo de elasticidade do betão no laboratório;
- Medição das propriedades mecânicas do betão "in situ".

É de toda a aparelhagem usada no L.N.E.C. para efectuar estas medições, bem como de todo o material acessório que se irá tratar, em seguida.

## CAP. II - MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS

### 1 - GENERALIDADES

De entre todas as medições usualmente efectuadas em barragens de betão, são os deslocamentos que dão indicações mais seguras e intuitivas relativamente a uma apreciação do comportamento global da estrutura.

A medição desses deslocamentos pode ser feita quer em relação a pontos do terreno, considerados fixos e afastados da obra (métodos geodésicos), quer em relação a pontos da própria estrutura ou da sua fundação (fio de prumo direito, e invertido, coordinómetro, tele-coordinómetro de indução, fotoclínografo, fios de invar e barra de fundação). Por os métodos geodésicos não constituírem actividade da D.O. far-se-á referência unicamente aos outros métodos de medição de deslocamentos.

### 2 - MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS RELATIVOS DE PONTOS DA BARRAGEM POR MEIO DE FIOS DE PRUMO

#### 2.1 - Fio de prumo direito

Destina-se a medir deslocamentos horizontais de pontos da barragem a várias cotas, em relação a outros pontos da estrutura ou da fundação. Para a medição destes deslocamentos, é necessário montar fios de prumo suspensos de pontos de cota elevada da barragem, e os deslocamentos são medidos com o coordinómetro ou com o telecoordinómetro. O coordinómetro fornece, a cada nível, leituras em duas direcções ortogonais, necessárias para definir a posição do fio de prumo nesse plano.

Os fios de prumo são geralmente montados em poços verticais, abertos através do corpo da barragem, excepto nas barragens de contrafortes,

em que são montados dentro de tubos de fibrocimento, colocados de encontro à face lateral do contraforte (Pracana e Miranda).

De início, os poços eram circulares, tendo um diâmetro de 80 cm. Verificou-se contudo, que quando o operador descia dentro do poço, para proceder às leituras, tocava invariavelmente no fio, que então entrava a oscilar, falseando as leituras que se realizavam subsequentemente. Presentemente adopta-se numa secção elíptica, tendo o eixo maior 1 m e o menor 0,5 m. Com esta secção consegue-se descer através do poço sem tocar no fio. O ideal será, contudo, dispor de galerias longitudinais que dêem acesso aos poços, pois no nível de cada uma se montará uma base de coordenómetro, podendo o diâmetro do poço ser menor. Em geral um diâmetro de 30 cm é suficiente para estes casos (Picote).

Vai passar-se a descrever o fio de prumo, seus suportes e aparelhos acessórios de medida - coordenómetro e telecoordenómetro de indução.

O fio de prumo (fig. II-1) é constituído por um fio de aço inoxidável de alta resistência de 1 mm de diâmetro, por um dispositivo de suspensão (1), dispositivo de fixação do fio (2), fio de aço inoxidável de alta resistência (6), dispositivo de fixação do peso (3), e peso (4) que pode ser de chumbo, tendo aproximadamente 60 kg de peso e possuindo quatro alhetas (5) que se destinam a evitar rotações, pelo que deve estar mergulhado em água ou óleo (fig. II-2). Os dispositivos de suspensão e de fixação do fio e o de suspensão do peso, deverão ser de aço inoxidável ou bronze, bem como os parafusos de fixação às cantoneiras. Estas podem ser de ferro e constituem a base de suporte dos dispositivos de fixação e suspensão à parede do poço.

O fio é suspenso a partir do eixo do dispositivo de suspensão e enrolado em volta daquele eixo. A sua fixação ao eixo é obtida por meio de duas mandíbulas que o apertam contra um fio de rosca de 0,7 mm de pro-

fundidade (figs. II-1 e 3). Um dispositivo semelhante fixa o fio ao dispositivo de suspensão do peso.

O dispositivo de fixação do fio mantém o ponto fixo do fio numa posição invariável. Consta essencialmente (fig. II-1) de uma placa com uma ranhura na qual o fio entra, sendo ajustado na fenda por um parafuso. A placa pode deslizar ao longo das cantoneiras de suporte e ser fixada na posição mais apropriada por quatro parafusos roscados.

O dispositivo de suspensão do peso tem um eixo semelhante ao do dispositivo de suspensão do fio. Um varão de aço inoxidável é ligado ao eixo por meio de uma peça U (fig. II-4). Esse varão passa através dum orifício feito no peso. Este é fixado por meio de um parafuso roscado na extremidade do varão.

## 2.2 - Fio de prumo invertido

Este dispositivo (figs. II-5, 6 e 7) baseado nos mesmos princípios dos do fio de prumo direito, tem, contudo, uma concepção algo diferente da deste, e destina-se a medir deslocamentos de pontos da barragem em relação a pontos do terreno, suficientemente profundos, para poderem ser considerados como fixos. Destina-se assim a substituir, com vantagem, a barra de fundação, que será descrita mais adiante. Por meio de uma criteriosa disposição das bases de coordenómetro, pode-se relacionar os deslocamentos relativos fornecidos pelo fio de prumo direito, com os dados pelo fio de prumo invertido e assim obter as componentes horizontais dos deslocamentos de qualquer ponto da barragem em relação a pontos considerados fixos, ou seja, deslocamentos absolutos.

Para isso há que montar em dois poços com a mesma vertical dois fios de prumo - direito e invertido - e fazer que a base de coordenómetro inferior do fio de prumo direito fique o mais próximo possível da base superior de leitura do fio de prumo invertido.

O fio de prumo invertido consta essencialmente de um flutuador de 20 kg de peso, incluindo o sistema de fixação, que é introduzido num reservatório coberto por uma tampa e cheio de água. Na parte superior do flutuador é acoplado o sistema de suspensão do fio, passando através daquele uma manga, na parte inferior da qual se faz a fixação do fio.

A impulsão que sofre o flutuador é de 64 kg, sensivelmente igual ao peso do fio de prumo direito (60 kg). Devido à forma anelar do flutuador, o fio tende a tomar sempre a posição vertical.

O dispositivo de fixação do fio na parte inferior do poço é constituído por um corpo cilíndrico, que é coberto parcialmente por uma calda muito fluida de cimento, a qual é injectada por um tubo que desce até ao fundo do poço.

### 2.3 - Coordinómetro óptico

O coordinómetro óptico (fig. II-8) é o aparelho com o qual se determina, a cada nível, a posição do fio em relação à estrutura. Para esse fim o coordinómetro materializa dois eixos em relação aos quais se referem as coordenadas do fio (fig. II-4). Quando se trata de barragens curvas, um dos eixos é usualmente colocado radialmente e o outro tangencialmente.

O coordinómetro projectado pelo LNEC é um instrumento óptico amovível, que consiste essencialmente em duas régua graduadas, normais entre si, sendo uma de 30 cm e outra de 20 cm.

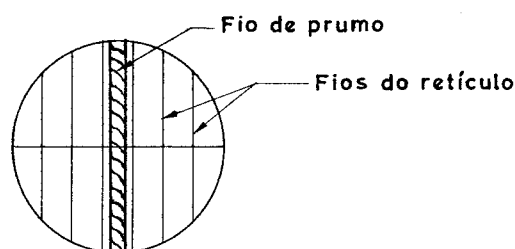
Um cursor desliza ao longo da régua maior por meio dum dispositivo de cremalheira e roda dentada. Este cursor transporta a régua menor que por sua vez se pode mover ao longo do cursor por meio de outro dispositivo de cremalheira e roda dentada. O cursor tem dois nónios o que permite fazer leituras nas duas escalas separadamente.

A régua menor tem um óculo provido dum retículo. O eixo do óculo coincide com o da régua em que se apoia. Na outra extremidade da régua

pequena há um espelho ou um prisma de reflexão total. Este espelho, que está exactamente a  $45^\circ$  com o eixo do óculo, é fixo à régua por uma charneira que permite a sua remoção do campo do óculo.

Com este dispositivo, as duas coordenadas da posição do fio podem ser obtidas sem mudar o coordenómetro da sua base. Assim, far-se-á primeiramente a leitura na régua maior, visando o fio directamente e em seguida a leitura na régua menor, visando o fio por intermédio do espelho. Esta última leitura pode ser feita com o cursor em qualquer posição, desde que o espelho esteja na sua posição a  $45^\circ$  com o eixo do óculo; é preferível, contudo, na prática, fazer a leitura na régua menor com o cursor na mesma posição para evitar erros devidos às variações do ângulo formado pelo plano do espelho, com a direcção do eixo da régua menor.

A luneta do coordenómetro tem um sistema de focagem na ocular, que permite tornar nítida a imagem do retículo para cada operador e possui um retículo com 6 fios paralelos verticais para centragem da imagem. Além disso para focagem da imagem do fio a luneta pode-se deslocar ao longo da régua menor, bastando para isso deslizar a alavanca de fixação e fixá-la na posição mais conveniente (modelo do L.N.E.C.). Há outro modelo em que o deslissamento da luneta sobre a régua menor se faz por um dispositivo de parafuso e cremalheira (modelo em serviço na HIDOURO) Para fazer a leitura directa desloca-se o cursor, actuando no parafuso do cursor até ver o fio no campo do óculo; em seguida foca-se a imagem fazendo deslizar a luneta ao longo da régua menor. Feito isto centra-se cuidadosamente a imagem do fio de maneira que fique compreendida entre os dois fios centrais do retículo, como se vê no esquema abaixo.



Finalmente obtém-se o valor da medida, lendo na régua maior até às décimas de mm, por intermédio do nónio.

Para fazer a leitura na direcção normal a esta começa-se por colocar o espelho no campo do óculo, e com o cursor numa posição qualquer da régua maior e accionando apenas o cursor da régua menor leva-se a imagem do fio a aparecer no campo do óculo. Esta operação torna-se, por vezes, difícil por causas de ordem óptica; por isso deve-se colocar por trás do fio um fundo branco para aumentar o contraste. Depois de se obter a imagem no campo do óculo procede-se como para a leitura anterior, fazendo-se agora a leitura na régua menor.

Se a uma dada cota (A) (fig. II-9) as leituras numa das réguas forem  $(l_1)$  e  $(l_2)$  nas épocas 1 e 2, e  $(i_1)$  e  $(i_2)$  as leituras referentes também às épocas 1 e 2, mas para uma cota mais baixa do fio de prumo direito, o deslocamento sofrido pelo ponto da estrutura à cota (A) em relação ao ponto onde as leituras foram  $i_1$  e  $i_2$  na direcção considerada e entre as épocas 1 e 2, será:

$$\delta = (i_2 - i_1) - (l_2 - l_1)$$

Anàlogamente o deslocamento de um ponto da barragem à cota  $(i)$  (fig. II-10) em relação ao ponto de fixação do fio de prumo invertido será dado por:

$$S = l_2 - l_1$$

O grau de precisão desta leitura é de 0,1 mm.

Para efectuar as leituras a diversas cotas é necessário fixar o coordinómetro a essas cotas. Para isso montam-se bases do tipo da representada na fig. II-4 .

As bases são fixadas a ferros U, de 8 cm de altura que são embebidos no betão, assegurando-se assim uma posição fixa e sempre a mesma para os coordinómetros, em relação à estrutura cujo deslocamento se pre-



tende medir. O coordenômetro é apoiado em três pontos sobre a base. Um dos pontos tem um furo, o outro uma fenda em linha com o furo e o terceiro tem uma pequena superfície plana.

Por este processo o coordenômetro é sempre colocado na mesma posição nas sucessivas operações. No entanto para corrigir pequenos erros, coloca-se em frente do coordenômetro uma referência cônica sôlidamente ligada à estrutura, de que se pretendem medir deslocamentos, a qual é visada antes de se fazer qualquer leitura, determinando-se as coordenadas da sua posição, o que permite por comparação com a leitura anterior deduzir qualquer pequeno erro de colocação do aparelho.

Para o bom sucesso das observações, os cones de apoio do coordenômetro e os pontos de suporte das bases devem ser cuidadosamente limpos antes de colocar o instrumento em posição. Deve usar-se uma escova dura e um dissolvente de gorduras (gasolina ou benzina) para limpar o instrumento.

## 2.4 - Telecoordinômetro de indução

### 2.4.1 - Constituição e funcionamento

O telecoordinômetro Willm é um aparelho que, associado ao fio de prumo, fornece, por simples leitura sobre um painel colocado à distância, dados por forma a obter os deslocamentos relativos de pontos das barragens.

O telecoordinômetro, ainda que indicado para todas as instalações de fios de prumo, é de particular interesse a sua montagem nos casos em que se pretenda levar a efeito numa barragem, um programa exaustivo de leituras de pequenos deslocamentos relativos.

Este aparelho, baseado no princípio de transmissões síncronas, é fundamentalmente constituído por duas peças distintas, a saber: o coleç

tor, solidário do fio de prumo; e o receptor, acompanhado dum escala luminosa, que pode ser instalado a algumas centenas de metros, (máximo de 3 km para  $150\Omega$  de resistência do fio) por exemplo, num quadro da sala de comando da central e eventualmente equipado dum dispositivo registador. Colector e receptor, constam de um circuito magnético e quadro móvel, que se desloca num entreferro. Os dois circuitos magnéticos são excitados em série, por uma corrente alterna de 220 V e 50 Hz de frequência. As ligações dos dois quadros móveis, integrados no mesmo circuito, devem ser feitas com fio muito leve e flexível. A cada posição do quadro colector corresponde uma posição de equilíbrio estável do quadro receptor, de tal maneira que neste momento não passa corrente no circuito dos quadros, equilibrando-se assim as forças electromotrizes.

Como se disse, o quadro do colector acompanha os movimentos do fio de prumo, mas sem exercer sobre ele qualquer reacção mecânica ou electromagnética. Como a queda de tensão nos enrolamentos de excitação do colector é muito baixa, podem ser instalados em série vários colectores, cada um dos quais associado ao seu fio de prumo, e com a possibilidade de utilização de um único receptor, por forma a que o quadro seja comutável sobre cada um dos colectores.

O aparelho, ainda que pouco sensível às variações de tensão de excitação, deve ser protegido por uma ou duas lâmpadas de ferro-hidrogénio, dispositivo que permite regularizar a corrente e provocar uma queda de tensão.

O intervalo de medida e a sensibilidade do telecoordinómetro são facilmente adaptáveis a cada caso particular, pela escolha do número de espiras do quadro colector (ou o que é o mesmo do fio de prumo) para 1 cm de deslocamento do sinal luminoso sobre o visor, quando operamos com um quadro colector de 30 espiras.

É conveniente utilizar, para leituras, o terço central da escala do visor e reservar os terços extremos por serem menos precisos e para os quais a marca luminosa sofre vibrações.

Não é demais insistir no interesse de utilização deste aparelho para a detecção de fenómenos de muito fraca amplitude. A precisão pode ir até 5 $\mu$  para o deslocamento do fio de prumo, deformação que, para a barragem abóbada de Saint-Étienne de 69 m de altura, onde se encontra instalado um telecoordinómetro Willm, tem correspondido a uma variação da cota de água de alguns milímetros!

O funcionamento do aparelho, é, pela análise do esquema que se segue, de fácil compreensão. Assim, a variação de fluxo correspondente a uma variação de posição do quadro colector é transmitida ao quadro receptor, ao qual está ligado um aparelho que gira com ele. O feixe luminoso, emitido por uma lâmpada e depois de reflectido pelo aparelho do quadro receptor, é projectado num visor graduado.

O telecoordinómetro, de precisão e fidelidade satisfatórias, é essencialmente cómodo e sensível. Porém, o seu emprego não dispensa, de tempos a tempos, a utilização de um outro meio de medida mais clássico (p. ex. coordinómetro óptico) sendo assim possível detectar irregularidades de funcionamento, resultantes da alteração do isolamento pela humidade da barragem, apesar de tomadas todas as precauções.

Apresentam-se algumas instruções que convém observar a quando da montagem e transporte do telecoordinómetro.

#### 2.4.2 - Instruções para a montagem

- Ligar o galvanómetro em vazio.
- Verificar o zero e se o movimento é livre.
- Verificar a suspensão e o nivelamento do galvanómetro em relação à escala.

- Fazer as ligações de acordo com o esquema. Ter especial cuidado em não trocar as ligações do quadro e excitação do galvanómetro.
- Colocar o quadro do colector ligado ao fió de prumo de forma que abrace meio núcleo e fique completamente livre.
- Ligar a alimentação.
- Verificar o zero do galvanómetro. Se este se deslocar muito da posição de repouso, desligar rápidamente e verificar as ligações.
- Fazer a calibração verificando o retorno ao zero. Se não se obtiver a coincidência do zero, verificar se qualquer coisa prende o movimento do quadro do galvanómetro.

#### 2.4.3 - Instruções para o transporte

- Desmonte o galvanómetro. Para isso desligue os condutores dos terminais (alvéolos do "CADRE" e "EXCITATION" e tire as três porcas de fixação).
- Na montagem verifique a suspensão. Devolva à oficina se a suspensão estiver partida.
- Ajuste a posição da lâmpada de maneira a obter uma imagem nítida e bem iluminada sobre toda a escala.

#### 2.4.4 - Esquemas

Apresentam-se os esquemas de montagem e de ligações do telecoordinómetro, acompanhados duma perspectiva de conjunto nas figs. II-11,12 e 13.

## CAP. III - MEDIÇÃO DE ROTAÇÕES

### 1 - CLINÓMETRO DE NÍVEL DE BOLHA

É um aparelho destinado a efectuar as medições de rotações. A sua colocação é feita sobre bases como a que se representa nas figs. III-1 e 2. Estas bases permitem efectuar medições de variação de inclinação em dois planos normais e que normalmente são o radical e o tangencial quando a barragem é de planta curva. As bases são fixadas ao betão por meio de argamassa e colocadas com o clinómetro em posição, com o fim de garantir uma horizontalidade inicial. As bases usadas até há pouco tempo tinham os pontos de apoio dimensionados para receberem os cones de pequenas dimensões do clinómetro (fig. III-1). Como era difícil com esses apoios garantir uma limpeza perfeita de forma a evitar-se os erros de leitura passaram a usar-se cones de apoio no clinómetro de muito maiores dimensões e de pontas arredondadas e as bases passaram a ter formas adaptadas às dos novos cones do clinómetro como se pode ver na fig. III-2. Com estas novas bases é ainda possível fazer leituras se gundo dois planos perpendiculares e para cada direcção duas leituras, invertendo o aparelho. As medições sobre as pequenas bases que se têm utilizado entre nós acusam simplesmente rotações localizadas. Como es tas medições efectuadas com essas bases não são significativas do com portamento geral da estrutura é mais conveniente adoptar bases com o comprimento de um metro e em cadeia como se indica na fig. III-3.

O clinómetro usado pela Divisão de Observação do L.N.E.C., fabricado por Huggenberger (figs. III-4 e 5) é constituído essencialmente por um nível muito sensível, montado sobre uma régua (a). Esta régua pode ro dar sobre um suporte (c), fixo sobre uma barra rígida (b), a qual é por

### III.2

sua vez ligada ou apoiada à estrutura de que se pretendem medir as rotações. Na outra extremidade é montado o micrômetro (f), constituído pela haste micrométrica filetada (g), e o tambor de leitura (h). Uma mola (d) comprime a régua (a) contra a extremidade (i) da haste micrométrica. A medida da rotação faz-se por calagem do nível (e), por rotação do tambor micrométrico (h). Este é provido de uma graduação com 250 divisões, cada uma das quais corresponde a um deslocamento angular da régua, de cerca de 1" sexagesimal. A fig. III-5 mostra-nos o aparelho sem a blindagem protectora. Uma rotação completa da cabeça (h), provoca a rotação de uma divisão do tambor que tem 40 divisões. Assim, cada divisão do tambor (n), de eixo horizontal, corresponde a 250 divisões do tambor de eixo vertical (h), ou sejam 4' 10" sexagesimais, visto cada uma daquelas divisões valer 1". Como o tambor (n) tem 40 divisões, o campo de medida do aparelho será 10 000" ( $40 \times 250''$ ) =  $2^\circ 46' 40'' \approx 3^\circ$ . Cada clinómetro é cuidadosamente calibrado, com o fim de determinar o número exacto de segundos a que corresponde cada divisão do tambor micrométrico; esta constante é fornecida para cada clinómetro.

O nível de bolha (e) que é de grande sensibilidade, tem uma graduação. Por sensibilidade entende-se o desvio angular correspondente ao desvio de bolha de uma divisão. Para centrar a bolha, a operação torna-se tanto mais morosa quanto maior é a sensibilidade. Geralmente usam-se níveis de 2-3" de sensibilidade.

No início das observações, a base é fixada com o clinómetro em posição, e de tal maneira que a bolha seja calada a meio do seu campo com o contador na posição 20 na janela frontal de leitura.

A calagem é levada a efeito, rodando o parafuso (h). Nas sucessivas leituras seguintes repete-se a operação de centragem da bolha, e faz

-se nova leitura. A diferença das leituras entre as 2 épocas dará o angulo de rotação da base.

Com o fim de proteger o nível, da influência das variações de temperatura, assim como o parafuso micrométrico do pó e da humidade, o clinómetro é protegido por uma blindagem metálica. O ar existente dentro desta, e das diferentes peças do aparelho constitui um excelente isolamento térmico, e a pintura branca exterior oferece uma protecção con - tra a radiação solar.

O dispositivo de leitura do parafuso micrométrico (h) e do contador (n) é constituído por 3 janelas, permitindo ao observador efectuar leituras em 3 direcções diferentes - frontal, lateral esquerda e lateral di - reita.

Isto permite eliminar erros de leitura, pois permite realizar duas verificações:

- a diferença de cada uma das três leituras entre épocas deve ser constante;

- a diferença de cada duas leituras numa dada época é uma constante de fabrico do aparelho, e terá que se verificar em qualquer leitura.

Vamos exemplificar as duas verificações descritas, com duas leituras realizadas entre 2 épocas com o clinómetro do L.N.E.C.:

Época 1

- janela lateral direita	{ contador - 20 parafuso - 00	20 - 000
- janela frontal	{ contador - 29 parafuso - 62	29 - 062
- janela lateral esquerda	{ contador - 38 parafuso - 124	38 - 124

Época 2

- Janela lateral direita	(contador - 18 ( (parafuso - 220	18 - 220
- Janela frontal	(contador - 28 ( (parafuso - 32	28 - 032
- Janela lateral esquerda	(contador - 37 ( (parafuso - 94	37 - 094

Leituras	Épocas		Diferenças
	1	2	
L D 1ª	20 - 000	18 - 220	1 - 030
F 2ª	29 - 062	28 - 032	1 - 030
L E 3ª	38 - 124	37 - 094	1 - 030
Valor da leitura			1 - 030

a) Verifica-se que a diferença para as 1ª, 2ª e 3ª leituras entre as épocas 1 e 2 é constante e tem o valor  $1 - 030 = 280'' = 4' 40''$  e é esse o valor da rotação entre as duas referidas épocas.

b) A diferença entre a 2ª e a 1ª, e entre a 3ª e a 2ª leituras de cada época é constante e tem o valor  $9 - 062 = 38' 32''$  que é uma constante de calibração do aparelho.



Quando se não verificar esta 2ª condição é sinal de que se está a ler fora do campo do aparelho e portanto tal leitura não terá significado.

## 2 - FOTOCLINÓGRAFO

O fotoclinógrafo é um aparelho registador destinado a medir rotações da barragem, em dois planos verticais normais entre si. Em geral os dois planos escolhidos conterão as direcções - montante/jusante, margem esquerda/margem direita ou sejam as direcções radial e tangencial respectivamente, no caso de a barragem ter planta curva.

### 2.1 - Constituição do fotoclinógrafo

O fotoclinógrafo regista rotações por meio de fotografia. Consta de 3 partes distintas:

a) Dois pêndulos horizontais de suspensão bifilar destinados a ser dispostos ortogonalmente de forma a dar as componentes da rotação em duas direcções perpendiculares.

b) Um registador constituído por um tambor móvel de cerca de 10 cm de diâmetro, e em que se monta um papel fotográfico de sensibilidade contrastada (papel fotográfico Kodak - Brometo WSG - 3S).

c) Duas fontes luminosas lineares constituídas por 2 porta-lâmpadas.

A disposição relativa destes 3 elementos é a que vai indicada em esquema na fig. III-6 e na fotografia da fig. III-7.

Os raios de luz serão reflectidos por espelhos solidários a cada um dos pêndulos e irão impressionar o papel fotográfico. A relação entre a amplitude do registo obtido e as rotações correspondentes depende do período de oscilação do pêndulo e da distância entre os espelhos e o registo.

Usualmente para os movimentos normais numa barragem obtêm-se bons resultados com um período de oscilação da ordem de 10 s e uma distância de 0,50 m.

## 2.2 - Descrição das diferentes partes do fotoclinógrafo

### Pêndulo

É constituído por uma haste horizontal normalmente de 7 cm de comprimento supostamente sem peso tendo na extremidade uma massa (M). Esta haste é suspensa de 2 pontos, um na extremidade oposta à massa e outro a meio do comprimento da haste. A suspensão faz-se por fios de pequeníssima espessura, da ordem de grandeza das dezenas de micron, de metal ou liga o mais possível inextensível ou mesmo de quartzo. Normalmente são de constantan coberto a seda e terão comprimento suficiente para que produzam um binário torsor baixo. Sobre o eixo de rotação do pêndulo, ou seja na linha que une os dois pontos de suspensão dos fios, e solidário à haste do pêndulo, monta-se um pequeno espelho perfeitamente plano em posição conveniente, quer dizer, perpendicular à haste ou segundo a direcção desta, conforme a componente da rotação que se pretende registar. O espelho destina-se a reflectir em direcção ao registo o raio luminoso proveniente do porta-lâmpadas respectivo. A direcção do raio de luz reflectido e portanto a sua incidência sobre o registo, acusa a posição do pêndulo, que é variável com a inclinação da base.

Os pontos de suspensão dos fios de constantan estão ligados a uma haste vertical solidária a uma base sobre 3 apoios nivelantes, dispostos de modo a formar um triângulo isósceles. Os dois parafusos da base desse triângulo permitem deslocações no plano horizontal da posição média da haste do pêndulo. Actuando sobre o 3º. parafuso, podemos

modificar o período de oscilação do pêndulo. Movendo-o de forma a levantar a base, obtém-se um aumento de período, e uma diminuição no caso contrário. As actuações sobre os parafusos devem fazer-se lentamente para que o pêndulo não sofra movimentos bruscos. Em reposo, o movimento do pêndulo pode ser limitado por uma pequena armação metálica móvel que serve de prisão.

Os pêndulos cobrem-se com uma caixa paralelepédica de plexi-glas, que serve de protecção e ainda de suporte a uma lente convenientemente escolhida em função da distância desejada do espelho ao registador, e que serve para fazer convergir os raios lumino-sos de forma a obter uma imagem reflectida sobre o registador me-nos dispersa e mais luminosa.

#### Registador

A rotação do tambor é proveniente de um mecanismo de reló-gio que transmite o movimento ao tambor por intermédio de uma en-grenagem. A corda do mecanismo de relógio é dada elèctricamente. A alimentação é de sector por corrente alterna de 110 V ou de 220 V. A cada uma destas tensões corresponde determinada ligação a um auto-transformador que, no caso da corrente de alimentação ser de 220 V a baixa para 110 V. No mecanismo de relógio há uma mola li-gada a um interruptor. A tensão da mola depende da corda do meca-nismo, e provoca a interrupção da alimentação no caso de haver corda suficiente e a ligação da corrente no caso de extinção da cor-da. O mecanismo de relógio dá movimento a um veio ligado a um pa-rafuso sem fim que engrena numa roda dentada. Esta roda, por sua vez, é articulada ao tambor por ligação dos respectivos veios.

A velocidade de rotação da roda dentada e, portanto do tam-bor, é de 1/30 rotação/dia, pelo que, ao fim de um mês, o papel es

tará impressionado.

A corrente, por derivação, e após um abaixamento de tensão de 110 V para 6 V, vai também alimentar uma lâmpada piloto colocada em frente de uma das margens laterais do papel fotográfico a pouca distância deste. Do circuito alimentador desta lâmpada faz parte um interruptor, o qual consta de uma peça metálica que encosta à periferia da roda dentada. Na zona periférica da roda há 30 pequenas reentrâncias circulares igualmente espaçadas, cheias de um material isolante. Quando a peça metálica contacta com a roda dentada, o circuito está fechado, mas quando se faz contacto com o material isolante, o circuito interrompe-se. Portanto, estando ligada a corrente, a lâmpada piloto estará apagada diariamente por um período curto.

A lâmpada é envolvida por um invólucro cilíndrico fechado, deixando apenas passar os raios luminosos por um pequeníssimo orifício circular colocado em frente ao papel fotográfico. Esse invólucro está montado num suporte que contém um fundo horizontal, destinado à passagem dos raios luminosos, e está ligado à base do registador de forma que a fenda fique a muito pequena distância da geratriz impressionável do cilindro de registo. Duas pequenas hastes verticais ligadas também a essa base permitem a suspensão do tambor pelo seu eixo.

Portanto, o papel fotográfico é impressionado, na sua zona central, pelos raios reflectidos pelos espelhos do pêndulo, constituindo dois registos correspondentes a cada uma das componentes de rotação da base. E numa das margens é impressionado pelos raios luminosos provenientes da lâmpada piloto por intermédio do pequeno orifício circular existente no invólucro desta lâmpada. Como esta está apagada diariamente durante um período curto, como atrás referido, ela serve de escala de tempos. A fig. III-7 representa esquematicamente todos os dispositivos que vêm sendo referidos.

O registador é protegido por uma caixa prismática com uma pega, para transporte, e que tem, numa das faces laterais, uma abertura rectangular correspondente à posição da fenda do registador destinada à passagem dos raios luminosos.

### Porta-lâmpadas

As lâmpadas que se destinam a enviar os raios luminosos em direcção aos espelhos dos 2 pêndulos são 2 lâmpadas 6 V - 3 W. Cada uma está montada num porta-lâmpada e é protegida por um invólucro cilíndrico fendido segundo uma geratriz de forma a constituir uma fonte luminosa linear de determinada extensão. O porta-lâmpada pode mover-se na direcção vertical, subindo ou baixando, por meio de um parafuso.

A alimentação das lâmpadas provém de derivação do circuito geral, após passagem por um transformador de 220/6 V.

### 2.3 - Fórmula de cálculo

Se o comprimento utilizado dos fios de suspensão do pêndulo for tal que a haste horizontal divida a meio a distância entre os pontos de suspensão, o eixo de rotação dos pêndulos passa a um terço do comprimento entre os pontos da haste a que estão ligados os fios, e verifica-se a seguinte relação aproximada entre a componente considerada da rotação do plano da base, e o ângulo de rotação do pêndulo:

$$\phi = \frac{3}{8} \frac{g}{\pi^2 l} \cdot T^2 \psi$$

onde são:

$\phi$  - ângulo de rotação do pêndulo

$\psi$  - ângulo de rotação da base

g - aceleração da gravidade

l - comprimento da haste do pêndulo

T - período de oscilação do pêndulo

A dedução desta fórmula consta do artigo "Il fotoclinógrafo a pendolo orizzontale nella teoria e nell'applicazione" por Pietro Caloi e Emma Derossi-Diamanti, publicado em L'Energia Elettrica nº. 10 - 1956.

#### 2.4 - Manejo do fotoclinógrafo

As estações clinográficas devem ser montadas em nichos abertos no betão ou na rocha, com dimensões aproximadas de 0,80 m x 0,80 m x 1,20m, e que serão hermèticamente vedados de forma a não permitir a entrada de luz exterior. Interessa que haja possibilidade de utilização de energia eléctrica de 110 V ou 220 V em corrente alterna.

Os pêndulos são colocados numa das extremidades do nicho de forma que os planos dos espelhos se achem sobre o mesmo plano vertical paralelo à face menor do nicho.

O registador será colocado na extremidade oposta, à distância desejada dos pêndulos, devendo a fenda da caixa do registador ficar mais ou menos em frente dos espelhos do pêndulo.

Os porta-lâmpadas serão colocados simètricamente um de cada lado do registador (fig. III-6).

Cada vez que se tenha que dar início ao funcionamento da estação clinográfica, deve proceder-se às diversas operações seguintes:

a) Verificar a geometria do pêndulo, isto é, verificar que a haste horizontal está a meia distância entre os pontos de suspensão do pêndulo e que o espelho está situado a um terço do comprimento da haste, contado a partir da extremidade oposta à massa.

Para levar a haste à meia distância entre os pontos de suspensão, poderá utilizar-se convenientemente mais ou menos comprimento dos fios de suspensão.

Também é possível deslocar-se o suporte do espelho, devendo operar-se com delicadeza.

b) Libertar parcialmente o movimento dos pêndulos, baixando convenientemente as prisões respectivas.

c) Actuar em cada um dos pêndulos sobre os dois parafusos respeitantes ao movimento horizontal, de forma a que o pêndulo ganhe estabilidade em torno de uma posição média conveniente, mais ou menos paralela ao correspondente lado do nicho.

d) Actuar em cada um dos pêndulos, sobre o 3º parafuso, de forma a que o pêndulo tome o período desejado. Normalmente, convém que esse período seja da ordem dos 10 a 11 s. É possível que após esta, seja necessário voltar a repetir a operação c).

e) Ligar o aparelho à corrente, escurecer o ambiente, e verificar se as imagens dadas pelos espelhos têm a sua posição média dentro do campo do registador. Para isso, convém tapar a fenda com um alvo branco, onde esteja indicada a posição da mesma. No sentido vertical, consegue-se o movimento da imagem, subindo ou descendo convenientemente os porta-lâmpadas. Se isso não bastar, actua-se com delicadeza no suporte dos espelhos, de forma a incliná-los levemente na direcção conveniente. No sentido horizontal consegue-se o deslocamento das imagens por pequenos deslocamentos da posição dos porta-lâmpadas, ou actuando, se necessário, sobre os parafusos da base dos pêndulos respeitantes aos movimentos horizontais. Neste caso, será preciso verificar novamente o período do pêndulo.

f) Devem ficar registados os períodos de oscilação dos 2 pêndulos, que, para simplificar, devem ser idênticos, e a distância entre o papel fotográfico e os espelhos. Como já se disse anteriormente, estes valores devem ser os adequados à amplitude das rotações que se pretende registar, de forma que os registos possam, por um lado, caber na largura da folha, e, por outro, darem a sensibilidade conveniente. Normal -

mente, o período deve ser da ordem dos 10 ou 11 s, e a distância do espelho ao registador de cerca de 0,50 m a 1,00 m.

g) Logo que estiver montado o aparelho em condições tais que a imagem caiba dentro da fenda do registador, e se tenham as distâncias registador-espelhos e período de pêndulo convenientes, deve desligar -se a corrente, acender uma luz vermelha, e escurecer o ambiente, de forma que não haja luz clara. À luz vermelha, montar-se-á o papel fotográfico sobre o tambor. Ligar-se-á de novo a corrente, e tapar-se-ão as portas do nicho, que devem vedar perfeitamente a entrada de qual -quer luz.

h) Ao fim de um mês, o papel fotográfico estará preenchido, pelo que se deve desmontar, tendo evidentemente o cuidado de que, ao abrir as portas do nicho, haja sòmente luz vermelha. O papel fotográfico se-rá levado, com as precauções necessárias, para revelação. Montar-se-á novo papel fotográfico devendo verificar-se que os diversos elementos mantêm as boas condições de funcionamento. Se necessário repetir - se-ão as operações indicadas.

Note-se que, para que os registos possam revelar continuidade, devem ser mantidas as posições dos pêndulos e do registador.

## 2.5 - Interpretação dos clinogramas

O ângulo de rotação  $\phi$  do pêndulo é dado no registo pelo desvio  $\Delta$  da imagem, de tal forma que :

$$\phi = \frac{\Delta}{2D}$$

em que D é a distância do espelho à face do registo.

Portanto teremos:

$$\Delta = \frac{6}{8} D \frac{g}{\pi^2 l} \cdot T^2 \psi$$



ou

$$\psi = \frac{8 \pi^2 l}{6 D g T^2} \Delta$$

Se tivermos, por exemplo,

$$l = 7 \text{ cm}$$

$$D = 50 \text{ cm}$$

$$T = 10 \text{ s.}$$

verificamos que a 1 cm de desvio da imagem corresponderão 4" de arco.

Normalmente os registos terão um aspecto sinusoidal que reflecte o efeito da onda diária de temperatura.

CAP. IV - MEDIÇÃO SIMULTÂNEA DE DESLOCAMENTOS E  
ROTAÇÕES

1 - BARRA DE FUNDAÇÃO

Estas observações são efectuadas com a barra de fundação. Esta montagem deveria ter sido descrita atrás pois destina-se a medir os mesmos deslocamentos que o fio de prumo invertido; no entanto, visto ser necessário utilizar o coordenómetro e o clinómetro para a realização das observações não nos referimos a ele sem primeiro ter descrito este último aparelho.

A barra de fundação destina-se a medir os deslocamentos de pontos da barragem em relação a pontos profundos na rocha de fundação considerados fixos e são, como os fios de prumo invertidos, montados em poços de secção circular de  $\phi = 35$  cm, abertos na rocha, e na mesma vertical do poço do fio de prumo direito. A montagem, como se pode ver na fig.IV-1, consiste essencialmente numa haste rígida, em geral um tubo metálico de 15 a 20 cm de diâmetro, que é fixada pela sua extremidade inferior no fundo de um poço aberto na fundação, no prolongamento do poço do fio de prumo direito. A finalidade dessa haste é, como se disse, trazer a referência ou ponto fixo do fundo do poço para a cota do ponto inferior do fio de prumo direito. Essa medição é feita com o coordenómetro visando uma referência existente na cabeça da haste. Mas pode suceder que a haste, entre duas épocas, além de sofrer translações sofra também rotações que vêm introduzir um erro nas medições efectuadas com o coordenómetro. Para avaliar essa possível rotação, faz-se uma medição clinométrica na cabeça da haste, segundo dois planos verticais normais entre si.

As expressões utilizadas para o cálculo são muito simples e deduzem-se da fig. IV-2.

$$\delta = l_2 - l_1$$

Se houver rotações será:

$$\delta = l'_2 - d - l_1 \quad \text{em que } d = \alpha h$$

Os valores ( $l_1$ ,  $l_2$  e  $l'_2$ ) são dados pelo coordenómetro, como já se viu atrás e o ângulo  $\alpha$  é dado pelo clinómetro.

## CAP. V - MOVIMENTO DE JUNTAS

### 1 - GENERALIDADES

É sabido que o monolitismo das barragens é condicionado pela necessidade de impedir que se instalem tensões indesejáveis quando se dão as grandes variações de temperatura no início da sua construção. Por isso elas são divididas em partes com funcionamento estrutural independente, por intermédio de juntas.

A observação dessas juntas através da definição ao longo do tempo da posição relativa de pontos pertencentes a duas partes contíguas, separadas por uma junta, permite determinar os movimentos de uma parte em relação à outra.

Se se considerar a intersecção do plano de uma junta com um plano horizontal, é fácil de ver que, a partir do que atrás ficou dito, se podem determinar as duas componentes nesse plano do movimento relativo dos blocos. Basta para isso ligar um sistema de eixos à parte que se considera fixa e determinar as componentes do movimento de um ponto ligado à outra parte. Considerando agora a intersecção do plano da junta com um plano vertical, de forma idêntica se pode determinar a terceira componente do movimento relativo.

Esta terceira componente bem como a componente do movimento no plano horizontal a que corresponde um deslizamento dos dois blocos, isto é, um movimento relativo que dá lugar a uma fricção das duas superfícies que limitam a junta, são, regra geral muito pequenas. Estas componentes darão uma ideia do comportamento dos dois blo

cos no aspecto dos assentamentos diferenciais. A componente do movimento, que corresponde a uma aproximação ou afastamento das superfícies que limitam a junta, dará uma ideia do comportamento dos dois blocos no que respeita a dilatações e contracções sofridas por eles e fornecerá indicações acerca das distâncias admissíveis entre juntas. Após a construção, as juntas são injectadas de modo a preencher o espaço vazio entre os dois blocos e a estabelecer, tanto quanto possível, a continuidade entre eles. Enquanto nas estruturas normais as juntas são uma necessidade permanente, em barragens abóbada são uma necessidade temporária.

Dado que as juntas em barragens abóbada poderão ser responsáveis por um comportamento estrutural diferente do desejado, melhor seria que elas não existissem. A utilização de cimentos de baixo calor de hidratação que não sofressem contracção, conjugada com um arrefecimento artificial rápido, poderia conduzir à eliminação das juntas.

Considere-se, porém, o caso real da barragem com juntas. Haverá todo o interesse em controlar o movimento dessas juntas em todos os pontos em que isso seja possível, de modo a poder determinar as melhores ocasiões para a realização das injecções, a eficácia destas, e a controlar o comportamento das juntas após as injecções. Desta forma, em todos os pontos acessíveis das intersecções da superfície de uma junta com as superfícies exteriores ou superfícies interiores de galerias, é costume fazer a observação dos seus movimentos. Além disso, em pontos convenientes do interior, é costume ainda colocar aparelhos, os medidores de juntas, embebidos no betão e cortando a junta, que medem os movimentos de abertura e fecho nos pontos em que são colocados.

Também, sempre que uma fenda surge, haverá toda a conveniência em fazer a sua observação, como se de uma junta se tratasse, no sentido de esclarecer a causa que a provocou e seguir o seu comportamento. Nor

malmente isto só é feito quando a fenda aparece em lugar facilmente acessível. No entanto o ideal seria que toda a fenda que surgisse fosse observada.

Requerendo pouco trabalho para a realização dos cálculos (após a elaboração de tabelas), as medições do movimento de juntas revestem -se de especial interesse para o estudo do comportamento de uma estrutura, sobretudo no que se refere ao problema de injeção das juntas (determinação da época adequada e também do controle do comportamento da junta após as injeções, o que dá uma ideia da eficiência destas). Por vezes torna-se necessário proceder ao enchimento das albufeiras antes de se terem realizado as condições óptimas para a injeção das juntas, mas, ainda neste caso, e talvez com mais forte razão, a determinação da época das injeções resulta de um estudo de análise levado a cabo sobre os diagramas dos movimentos das juntas.

## 2 - MEDIÇÕES NO INTERIOR DO BETÃO

Para as medições no interior do betão têm sido utilizados medidores de junta de corda vibrante (tipo Galileo) na barragem de Salomonde, e de resistência eléctrica (tipo Carlson) nas barragens do Cabril, Caniçada, Bouçã, Picote, Odeáxere, Miranda, Alto Rabagão e Bemposta. Foram também usados com a mesma finalidade extensómetros Telémac de 250 mm de base, embebidos no interior do betão na barragem de Venda Nova,

### 2.1 - Medidor de juntas Galileo

Este aparelho que se encontra representado na fig. V-1 baseia-se na utilização de uma corda vibrante ligada a um sistema desmultiplicador do movimento da junta. Consta, essencialmente, de dois cilindros estanques (AB) e (CD) e de uma manga (EF). Os referidos cilindros protegem exteriormente todo o sistema.

O cilindro (ED) dispõe de uma parte flexível (ST) constituída por cha pa de latão canelada e resistente a pressões laterais da ordem dos  $15\text{kg/cm}^2$  e muito deformável para esforços axiais.

A junta a observar deve ficar normal à zona flexível e coincidir com a sua parte média.

O sistema medidor consta de uma corda tirante (GH) que se encontra ligada, por um lado, ao tampão que veda a entrada da zona flexível do cilindro de menor diâmetro, e por outro, a um êmbolo (HI) que transmite o movimento da junta até ao interior do cilindro de maior diâmetro. É neste cilindro que se encontra o sistema desmultiplicador do movimento, a corda vibrante e os electroímans, além de uma estrutura rígida (MN) de suporte deste elemento, bem como do cabo eléctrico de ligação.

O sistema de desmultiplicação é constituído por uma alavanca (IJ) ligada ao êmbolo (IH) e a uma articulação (J). A corda vibrante encontra-se ligada a um ponto da alavanca, escolhido de modo que os deslocamentos da corda tirante venham reduzidos na relação 10/1.

A corda vibrante e a corda tirante são mantidas sob um pequeno estado de tensão pela acção de duas molas (P) e (Q).

Para absorver a humidade, existe uma substância apropriada em (L). A saída dos cabos é feita através da manga (EF), a qual dispõe de dois buçins (R) e (F). É dentro da manga que os cabos são acrescentados. Tanto a mola, como o sistema flexível (ST) são protegidos exteriormente, por um tubo de borracha que impede a aderência do betão a esta zona do aparelho.

O método de leitura baseado no princípio da corda vibrante será descrito adiante.

## 2.2 - Medidor de juntas Carlson

Destina-se, como o anterior, a medir fechos e aberturas das jun -

tas de contracção. Consta essencialmente dum tubo de latão de cerca de 25 cm de comprimento (figs.V-2 e 3) e 3,8 cm de diâmetro, dentro do qual existe uma haste. Esta haste é constituída por duas barras de aço, ligadas entre si por duas braçadeiras também de aço e por uma mola de aperto, com tendência para fechar o aparelho, isto é, para aproximar os topos. O tubo de latão é muito deformável, mercê de um fole canelado, que tem, contudo, certa resistência transversal. Os topos são diferentes, pois um constitui uma cabeça e outro é uma rosca que vai penetrar num terminal roscado dum suporte colocado no bloco mais alto. Sobre as duas barras de aço existem 4 isoladores, entre os quais se realizam dois enrolamentos. Esses enrolamentos são constituídos por um único fio de aço, postos em tensão por 2 molas espirais que por sua vez vão terminar nas 2 barras da haste. Desta maneira a maior parte da deformação é recebida por aquelas molas, preservando-se, contudo, a proporcionalidade da tensão nos fios da resistência, com a variação exterior de comprimento.

Visto que há deslizamentos diferenciais dos dois blocos adjacentes à junta, tomam-se precauções para permitir este jogo, diminuindo a secção transversal do aparelho junto às cabeças, passando essas secções a trabalhar como rótulas, podendo-se assim dar deslizamentos sem o aparelho se danificar. A amplitude deste aparelho é de 5 mm para a abertura e de 0,8 mm para o fecho, em relação à posição inicial. Para os deslizamentos, que ele aliás não mede, a amplitude permitida é de 2,5 mm.

O campo longitudinal de 5 mm requiere que seja usado um fole flexível, substituindo parte da parede da câmara, de modo que a deformação do medidor possa dar-se, sem criar esforços.

A calibração do aparelho mostra que, em regra, uma variação de 0,0001 na relação das resistências dos dois enrolamentos corresponde



a uma abertura da junta de aproximadamente 0,008 mm.

A resistência dos dois enrolamentos em série é normalmente cerca de  $55 \Omega$  a  $21^{\circ}\text{C}$ , aumentando  $1 \Omega$  por cada  $6^{\circ}\text{C}$  de subida de temperatura.

A correcção correspondente à variação do comprimento das hastes por variação de temperatura é desprezável.

Os esquemas das ligações e os métodos de leitura serão descritos adiante ao tratar do aparelho de leitura dos extensómetros Carlson.

### 3 - MEDIÇÕES A SUPERFÍCIE DAS BARRAGENS

Para as medições efectuadas à superfície e em locais acessíveis usam-se aparelhos denominados alongâmetros. Entre nós têm sido usados alongâmetros de dois tipos - Whittmore e Marion - (figs. V-4 e 5) Podemos considerar o alongâmetro como sendo um extensómetro mecânico que não possui dispositivo de ligação ao corpo cuja deformação se pretende medir. Esta ligação é efectuada pelo operador quando executa a leitura. O alongâmetro apoia-se sobre bases especiais (figs. V-6 e 7) que se chumbaram no betão. Até há pouco tempo as pontas dos alongâmetros eram cónicas e os pontos de apoio ou bases tinham formas aptas a receber as pontas cónicas. Verificava-se porém que as leituras variavam muito com o observador, visto serem muito afectadas pela inclinação das pontas relativamente aos eixos dos furos dos cones. Foram por isso substituídas por pontas esféricas que se apoiam em pontos de apoio equipados com furos cónicos. A leitura é assim mais precisa não sendo influenciada pela referida inclinação (fig. V-7).

Note-se que há um outro tipo de bases para alongâmetro, usadas principalmente em ensaios laboratoriais, que têm uma semi esfera salientes sobre a qual se assentam as pontas do alongâmetro. Está neste caso o alongâmetro de milésimos, usado pelo S.E.P. do

L.N.E.C., assim chamado por estar equipado com um deflectómetro Stoppani cuja menor divisão vale 0,001 mm.

Estas bases são dispostas de modo a constituírem os vértices de um triângulo equilátero. Essa distância entre as bases é dada por um triângulo metálico (fig. V-8) que define exactamente a posição das bases a quando da sua colocação.

O princípio de funcionamento do alongâmetro consiste em transmitir o movimento relativo das suas pontas, quer directamente, quer por ampliação, a um deflectómetro.

O deflectómetro é o aparelho que transforma e amplia o movimento rectilíneo em movimento circular, transmitido a um ponteiro que se desloca num mostrador convenientemente graduado, normalmente em 0,01mm ou 0,001 mm (centésimos ou milésimos). Esta transmissão é feita por um sistema de alavancas que amplia o movimento resultante dos deslocamentos das pontas que se introduzem nas bases.

### 3.1 - Alongâmetro Whittmore

Como se vê pela fig. V-4 e 9 o aparelho compõe-se de duas réguas ( $a_1$ ) e ( $a_2$ ) de invar que são tornadas solidárias por duas lâminas ( $b_1$ ) e ( $b_2$ ), cada uma destas réguas é munida dum botão (A) e (B) equipados cada um com uma ponta rectificada de forma cónica ( $30^\circ$ ), em aço temperado.

A distância entre as duas pontas é o comprimento de medida ( $l$ ) e a variação deste comprimento ( $\Delta l$ ) é indicada directamente pelo deflectómetro. Como se vê na fig. V-9:

$$l = l_1 + l_2 - l_3$$

donde

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 - \Delta l_3$$

Para que  $\Delta l = 0$ , isto é, para que não haja erro devido a variação de temperatura bastará que

$$\Delta l_3 = \Delta l_1 + \Delta l_2$$

Escolhendo judiciosamente o metal da haste de contacto e o seu comprimento ( $l_3$ ), é possível compensar a influência das variações de temperatura sobre o aparelho, segundo a relação já referida

$$\Delta l_3 = \Delta l_1 + \Delta l_2$$

na qual ( $\Delta l_1$ ) e ( $\Delta l_2$ ) indicam as variações de comprimento das partes (AD) e (BC) das duas réguas e ( $\Delta l_3$ ) a variação de comprimento da haste de contacto.

O aparelho tem um comprimento útil de 25,4 cm e pode medir variações de comprimento até  $\pm 4$  mm.

Rodando o quadrante (m) (fig. V-4 ) a escala de medida pode ser disposta a medir deformações de tracção (sinal +) ou de compressão (sinal -). O deflectómetro (u) tem um campo de medida de 5 mm; o quadrante está dividido em 100 partes, correspondendo cada uma a uma variação linear de 0,00254 mm o que corresponde a uma deformação de  $0,01\% = 10 \times 10^{-6}$  unidades de extensão.

O número de voltas completas da agulha do quadrante graduado é indicado, automaticamente, por uma outra agulha. Sempre que o aparelho não esteja a ser manipulado, deve ser travado pelo perne (r) (fig. V-4 ).

O alongâmetro é agarrado pelos botões (A) e (B) (fig. V-9 ), ajustado e premido sobre as bases que determinaram o comprimento a medir. A pressão a exercer deve ir diminuindo progressivamente até um valor tal, que se obtenha a mesma leitura várias vezes segui -

das; esta pressão deve ser neste momento a menor possível e dirigida segundo o eixo das pontas (A) e (B). Inclinando o aparelho num sentido ou noutro, mas perpendicularmente ao seu eixo, a agulha move-se constantemente no mesmo sentido até chegar à posição normal conveniente que é atingida quando o alongâmetro está bem perpendicular à peça a medir.

Devem fazer-se, em cada caso, três leituras; não devendo a diferença das leituras extremas, ultrapassar uma divisão do quadrante. No intervalo entre duas leituras as bases e as pontas do aparelho devem ser cuidadosamente limpas. Para evitar erros de leitura, devidos ao mau funcionamento do sistema automático compensador de variações por efeito térmico, o alongâmetro possui como dispositivo acessório um padrão de controle de ínvar. Assim, antes de efectuar uma medida sobre uma peça em observação, executa-se a mesma operação sobre a barra de ínvar; o valor da medida sobre a peça é então a diferença das leituras feitas na peça e na barra de ínvar. Assim, se forem para a época (1),  $(b_1)$  e  $(i_1)$ , respectivamente as leituras no betão e no ínvar e, na época (2),  $(b_2)$  e  $(i_2)$  as mesmas leituras, a variação de comprimento medida entre as duas épocas será:

$$\Delta = (b_2 - b_1) - (i_2 - i_1)$$

As bases, construídas em aço, têm um orifício de 1,6 mm de diâmetro; a entrada deste orifício é cónica e tem a profundidade de 1 mm. O ângulo deste cone é de  $60^\circ$  e o das pontas do alongâmetro  $30^\circ$ ; o contacto das pontas com as bases faz-se, portanto, segundo um círculo (fig. V-10). A protecção do furo é assegurada com uma tampa amovível de latão. O material da base tanto pode ser o aço normal como o inoxidável, sendo este último preferível apesar de mais caro pois não

se enferruja. De qualquer modo deve ter-se o cuidado de manter as bases sempre limpas e lubrificadas.

### 3.2 - Alongâmetro Marion

O alongâmetro Marion (fig. V-9) é constituído por um braço ao qual está rigidamente ligado um deflectómetro e na extremidade do qual está fixado também uma das pontas do aparelho. A outra ponta está fixa numa peça que se articula no braço por uma lâmina metálica, flexível e elástica. Esta peça ao entrar em jogo a articulação, comanda a haste do deflectómetro. A haste deste aparelho dista da articulação duma distância dupla da que medeia entre ela e a linha que une as pontas do alongâmetro. O movimento é assim transmitido ao deflectómetro com uma ampliação igual a dois. No alongâmetro deste tipo a base de medida é, em regra, de 25cm e o deflectómetro é de centésimos de milímetro. Para este aparelho ter-se-á portanto que 200 divisões do mostrador corresponderão a um deslocamento das pontas de 1 mm.

A sensibilidade é de  $\pm 0,1$  de divisão e a precisão é de  $\pm 1$  divisão. O campo de medida é de 5 mm o que dá uma extensão máxima de  $\frac{5}{250} = 2 \times 10^{-2}$ .

Quanto à técnica de utilização deste aparelho, e como se disse para o alongâmetro de Wittmore, as leituras são feitas assentando nas bases as pontas do aparelho e segurando pelas pegas, de tal forma que fique bem perpendicular à superfície da peça em estudo (fig. V-5). Devem-se evitar principalmente torsões do aparelho. Com as pontas esféricas agora em uso este inconveniente foi efectivamente eliminado. É necessário, tal como para o alongâmetro Marion efectuar uma leitura numa barra de invar que constitui também acessório obrigatório deste alongâmetro. Dado que os deflectómetros usados no alongâmetro Marion dispõem da possibilidade de regular a leitura por actuação num dispositivo apropriado, é aconselhá -

vel que a leitura no ínvar seja sempre a mesma, o que se consegue actuando no referido dispositivo com o aparelho colocado sobre a barra de ínvar.

Durante muito tempo foram usados com o alongâmetro Marion bases iguais às representadas na fig. V-10 . Actualmente usam-se as bases representadas na fig. V-11.

### 3.3 - Fixação das bases

Visto que geralmente as bases são fixadas ao betão depois deste ter sido colocado, torna-se necessário abrir furos nos quais se fi - xam as bases com argamassa.

As disposições relativas das bases e da junta podem ser as indi cadas na fig. V-12 , disposições estas que nos dão quer o valor do deslocamento quer o da abertura da junta. No entanto, a disposição in dicada em (I) é preferível porque nos dá a abertura directamente por uma simples diferença de leituras. Em qualquer das disposições se constata que a observação do movimento das juntas, nos pontos acessí veis das superfícies exteriores ou interiores de galerias, é feita através das variações de comprimento dos lados dum triângulo equilátero cujos vértices são materializados pelas bases atrás referidas. É evidente que os movimentos medidos são relativos. Deste modo, para efeitos da sua determinação, pode-se considerar um dos blocos como fixo (o da esquerda) fig. V-12 e ligar-lhe um sistema de eixos(xy) em relação ao qual se referem as componentes do movimento do bloco da direita.

A componente do movimento segundo o eixo(y) (abertura ou fecho) considera-se positiva se o bloco da direita se afastar do considera- do fixo (abertura) e negativa se aquele bloco se aproximar do consi- derado fixo (fecho). A componente do movimento segundo o eixo(x) (des

lizamento) considera-se positiva se o bloco da direita recuar ou baixar (conforme o plano de medição for horizontal ou vertical) em relação ao bloco considerado fixo, supondo que o ponto de vista está no quadrante indicado do sistema de eixos. É indispensável ter sempre isto em atenção a fim de evitar dúvidas que surgem por vezes ao fazer a determinação dos deslizamentos duma mesma junta observada em dois pontos, um a montante e outro a jusante, como é usual no coroa-mento das barragens.

Far-se-á seguidamente a dedução das expressões dos movimentos das juntas em função de grandezas medidas. Ver-se-á que se trata de expressões simples, desde que se tenham em consideração certas simplificações legítimas, susceptíveis de facilmente serem tabeladas. O cálculo dos movimentos de juntas torna-se assim fácil, cómodo e rápido.

#### 3.4 - Dedução das expressões de cálculo dos movimentos das juntas

Designar-se-á por  $(\Delta x)$  e  $(\Delta y)$  respectivamente o deslizamento e a abertura da junta entre duas épocas e por  $(\Delta \bar{1}_{a+d}, \Delta \bar{2}_{a+d}$  e  $\Delta \bar{3}_{a+d})$  as variações de comprimento respectivamente dos lados ( $\bar{1}$ ,  $\bar{2}$  e  $\bar{3}$ ) do triângulo, medidas entre as mesmas épocas e devido ao movimento de abertura (a) mais deslizamento (d) da junta.

Pretende-se determinar as expressões que dão  $(\Delta x)$  e  $(\Delta y)$  em função de  $(\Delta \bar{1}_{a+d}, \Delta \bar{2}_{a+d}$  e  $\Delta \bar{3}_{a+d})$  para as duas disposições adoptadas. Para tal parte-se inicialmente da hipótese que as variações de comprimento dos lados ( $\bar{1}$ ,  $\bar{2}$  e  $\bar{3}$ ) são consequência somente dos movimentos da junta. Da análise que vai ser feita para achar aquelas expressões considerar-se-á em primeiro lugar que a junta sofreu uma abertura  $(\Delta y)$ , e determinar-se-á a sua repercussão na variação de comprimento dos lados ( $\bar{1}$ ,  $\bar{2}$  e  $\bar{3}$ ); depois, que ela sofreu um deslizamento  $(\Delta x)$  cuja repercussão na variação de comprimento dos lados ( $\bar{1}$ ,  $\bar{2}$  e  $\bar{3}$ ) se de

termina igualmente. Os valores de ( $\Delta \bar{1}_{a+d}$ ,  $\Delta \bar{2}_{a+d}$  e  $\Delta \bar{3}_{a+d}$ ) que correspondem ao caso geral do movimento da junta, abertura ou fecho mais deslizamento, serão a soma das parcelas respectivas obtidas como se indicou atrás. Chega-se então a um sistema de duas equações a duas incógnitas, ( $\Delta x$  e  $\Delta y$ ), que se resolve.

Faremos em seguida a dedução para a disposição (I) (fig. V-12).

Considere-se então a disposição (I) e suponha-se que a junta abriu ( $\Delta y$ ) (fig. V-12 (a)). Nestas condições, as bases colocadas no bloco da direita afastaram-se também de ( $\Delta y$ ) da sua posição inicial e o triângulo definido pelas bases passou a ser o triângulo a traço interrompido, no qual variaram os comprimentos dos lados ( $\bar{1}$  e  $\bar{3}$ ). É portanto:

$$\Delta \bar{2}_a = 0 \quad (1a)$$

$$\Delta \bar{3}_a = \Delta y \quad (1b)$$

Quanto a ( $\Delta \bar{1}_a$ ) ter-se-á:

$$\Delta \bar{1}_a \approx a = \Delta y \cdot \cos (60^\circ - \alpha) \approx \Delta y \cos 60^\circ = \Delta y \times \frac{1}{2} \quad (1c)$$

desde que se substitua o arco de círculo que projecta (3) em ( $\overline{AB'}$ ) pelo segmento da perpendicular baixado de (3) sobre ( $\overline{AB'}$ ) e desprezando o ângulo ( $\alpha$ ), muito pequeno.

Suponha-se agora (fig. V-12 (b)) que se deu o deslizamento ( $\Delta x$ ), o qual só afecta também as bases colocadas no bloco da direita, as quais se afastaram ( $\Delta x$ ) da sua posição inicial. É portanto:

$$\Delta \bar{2}_d = 0 \quad (2a)$$

$$\Delta \bar{3}_d \approx 0 \quad (2b)$$



em virtude do ângulo( $\alpha$ ) ser muito pequeno e

$$\Delta l_d = - \Delta x \cos (30^\circ + \beta) = - \Delta x \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2c)$$

por ser também muito pequeno o ângulo( $\beta$ ).

Para obter as expressões de ( $\Delta \bar{1}_{a+d}$ ,  $\Delta \bar{2}_{a+d}$  e  $\Delta \bar{3}_{a+d}$ ) no caso mais geral do movimento da junta, basta somar as expressões (1) com as correspondentes (2). Ter-se-á então:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{2}_{a+d} &= 0 \\ \Delta \bar{3}_{a+d} &= \Delta y \\ \Delta \bar{1}_{a+d} &= \frac{\Delta y}{2} - \Delta x \frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

donde

$$\begin{cases} \Delta y = \Delta \bar{3}_{a+d} & (3a) \\ \Delta x = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\Delta \bar{3}_{a+d}}{2} - \Delta \bar{1}_{a+d} \right) & (3b) \end{cases}$$

Obtêm-se assim as expressões que nos dão a abertura e o deslissamento em função das grandezas medidas ( $\Delta \bar{1}_{a+d}$  e  $\Delta \bar{3}_{a+d}$ ).

Na prática as variações de comprimento dos lados são obtidas, por intermédio do alongâmetro.

No caso do alongâmetro Marion ele amplia, como vimos, duas vezes as variações de comprimento e transmite-as à haste de um deflectómetro de centésimos. Além disso, a montagem está feita de tal forma que, quando há um aumento de comprimento, a leitura no deflectómetro diminui e se houver uma redução de comprimento a leitura aumenta. Deste modo, se designarmos por ( $\Delta \bar{1}$  e  $\Delta \bar{3}$ ) as diferenças das leituras feitas no deflectómetro entre duas épocas nos lados ( $\bar{1}$  e  $\bar{3}$ ), será

$$\Delta \bar{1}_{a+d} = - \frac{\Delta \bar{1}}{2} \text{ e } \Delta \bar{3}_{a+d} = - \frac{\Delta \bar{3}}{2} \quad (4)$$

substituindo em (3a) e (3b), virá:

$$\begin{cases} \Delta y = -\frac{\Delta \bar{3}}{2} & (5a) \\ \Delta x = -\frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\Delta \bar{1}}{2} - \frac{\Delta \bar{3}}{4} \right) = -\frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{\Delta \bar{3}}{2} - \Delta \bar{1} \right) & (5b) \end{cases}$$

Do mesmo modo se demonstraria que para a disposição (II) as expressões de  $(\Delta x)$  e de  $(\Delta y)$  para o alongâmetro Marion seriam:

$$\begin{cases} \Delta y = -\frac{1}{2\sqrt{3}} (\Delta \bar{1} + \Delta \bar{2}) & (6a) \\ \Delta x = \frac{1}{2} (\Delta \bar{1} - \Delta \bar{2}) & (6b) \end{cases}$$

As expressões (5a), (5b), (6a) e (6b) estão tabeladas nas Tabelas I, II, III e IV.

É importante notar que a aplicação das expressões (5a), (5b), (6a) e (6b) só é válida entre épocas para as quais não há variações de comprimento nos lados que não cortam a junta - lado (2) na disposição (I) e lado (3) na disposição (II). É claro que de época para época há em geral pequenas variações no comprimento destes lados, devidas quer à imprecisão das medições quer a extensões instaladas por variação das tensões entre essas épocas.

Contudo estas variações do comprimento são sempre muito pequenas (da ordem dos centésimos de milímetro), não dando praticamente lugar a erro na determinação das componentes do movimento da junta, e distinguem-se facilmente das variações devidas a fendas provocadas por variações termo-higrométricas do betão superficial, ou a deslocamento de uma das bases devido a choque acidental.

Vê-se assim que as referidas expressões só são válidas quando as variações de comprimento dos lados (1, 2 e 3) são consequência sômen-

te dos movimentos da junta.

O aparecimento, a partir de certa época, de uma leitura bastante diferente no lado que não corta a junta, obriga a tomar essa época como nova origem de cálculo dos movimentos, não sendo possível ligar exactamente os dois troços do diagrama obtido antes e depois dessa data. Somente por estima tal será possível, tendo em atenção os andamentos de ambos os troços da zona a ligar.

É de notar ainda que em certos casos particulares de variação de comprimento do lado que não corta a junta se podem fazer correcções nas expressões de cálculo de movimento das juntas.

TABELA I - CÁLCULO DE DESLIZAMENTOS

$\frac{\Delta 3}{2} - \Delta 1$ (0,01 mm)	Deslizamentos (mm)	$\frac{\Delta 3}{2} - \Delta 1$ (0,01 mm)	Deslizamentos (mm)	$\frac{\Delta 3}{2} - \Delta 1$ (0,01 mm)	Deslizamentos (mm)	$\frac{\Delta 3}{2} - \Delta 1$ (0,01 mm)	Deslizamentos (mm)	$\frac{\Delta 3}{2} - \Delta 1$ (0,01 mm)	Deslizamentos (mm)
1	- 0,006	46	- 0,266	91	- 0,525	136	- 0,785	181	- 1,045
2	- 0,012	47	- 0,271	92	- 0,531	137	- 0,791	182	- 1,051
3	- 0,017	48	- 0,276	93	- 0,537	138	- 0,797	183	- 1,057
4	- 0,023	49	- 0,283	94	- 0,543	139	- 0,803	184	- 1,062
5	- 0,029	50	- 0,289	95	- 0,548	140	- 0,809	185	- 1,068
6	- 0,035	51	- 0,294	96	- 0,554	141	- 0,814	186	- 1,074
7	- 0,040	52	- 0,300	97	- 0,560	142	- 0,820	187	- 1,080
8	- 0,046	53	- 0,306	98	- 0,566	143	- 0,826	188	- 1,085
9	- 0,052	54	- 0,312	99	- 0,572	144	- 0,831	189	- 1,091
10	- 0,058	55	- 0,318	100	- 0,577	145	- 0,837	190	- 1,097
11	- 0,064	56	- 0,323	101	- 0,583	146	- 0,843	191	- 1,103
12	- 0,069	57	- 0,329	102	- 0,589	147	- 0,849	192	- 1,109
13	- 0,075	58	- 0,335	103	- 0,595	148	- 0,854	193	- 1,114
14	- 0,081	59	- 0,341	104	- 0,600	149	- 0,860	194	- 1,120
15	- 0,087	60	- 0,346	105	- 0,606	150	- 0,866	195	- 1,126
16	- 0,093	61	- 0,352	106	- 0,612	151	- 0,872	196	- 1,132
17	- 0,098	62	- 0,358	107	- 0,618	152	- 0,878	197	- 1,137
18	- 0,104	63	- 0,364	108	- 0,624	153	- 0,883	198	- 1,143
19	- 0,110	64	- 0,370	109	- 0,629	154	- 0,889	199	- 1,149
20	- 0,116	65	- 0,375	110	- 0,635	155	- 0,895	200	- 1,155
21	- 0,121	66	- 0,381	111	- 0,641	156	- 0,901		
22	- 0,127	67	- 0,387	112	- 0,647	157	- 0,906		
23	- 0,133	68	- 0,393	113	- 0,652	158	- 0,912		
24	- 0,129	69	- 0,398	114	- 0,658	159	- 0,918		
25	- 0,144	70	- 0,404	115	- 0,664	160	- 0,924		
26	- 0,150	71	- 0,410	116	- 0,670	161	- 0,930	100	- 0,577
27	- 0,156	72	- 0,416	117	- 0,675	162	- 0,935	200	- 1,155
28	- 0,162	73	- 0,422	118	- 0,681	163	- 0,941	300	- 1,732
29	- 0,167	74	- 0,427	119	- 0,687	164	- 0,947	400	- 2,309
30	- 0,173	75	- 0,433	120	- 0,693	165	- 0,953	500	- 2,337
31	- 0,179	76	- 0,439	121	- 0,699	166	- 0,958	600	- 3,464
32	- 0,185	77	- 0,445	122	- 0,704	167	- 0,964	700	- 4,041
33	- 0,191	78	- 0,450	123	- 0,710	168	- 0,970	800	- 4,519
34	- 0,196	79	- 0,456	124	- 0,716	169	- 0,976	900	- 5,196
35	- 0,202	80	- 0,462	125	- 0,722	170	- 0,981	1000	- 5,774
36	- 0,208	81	- 0,468	126	- 0,727	171	- 0,987		
37	- 0,214	82	- 0,473	127	- 0,733	172	- 0,993		
38	- 0,219	83	- 0,479	128	- 0,739	173	- 0,999		
39	- 0,225	84	- 0,485	129	- 0,745	174	- 1,005		
40	- 0,231	85	- 0,491	130	- 0,751	175	- 1,010		
41	- 0,237	86	- 0,497	131	- 0,756	176	- 1,016		
42	- 0,242	87	- 0,502	132	- 0,762	177	- 1,022		
43	- 0,248	88	- 0,508	133	- 0,768	178	- 1,028		
44	- 0,254	89	- 0,514	134	- 0,774	179	- 1,033		
45	- 0,260	90	- 0,520	135	- 0,779	180	- 1,039		

Disposição relativa

Bases - Junta

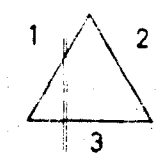


TABELA II - CÁLCULO DE ABERTURAS DE JUNTAS

$\Delta 3$ (0,01 mm)	Aberturas (mm)	$\Delta 3$ (0,01 mm)	Aberturas (mm)	$\Delta 3$ (0,01 mm)	Aberturas (mm)	$\Delta 3$ (0,01 mm)	Aberturas (mm)	$\Delta 3$ (0,01 mm)	Aberturas (mm)
1	- 0,005	46	- 0,230	91	- 0,455	136	- 0,680	181	- 0,905
2	- 0,010	47	- 0,235	92	- 0,460	137	- 0,685	182	- 0,910
3	- 0,015	48	- 0,240	93	- 0,465	138	- 0,690	183	- 0,915
4	- 0,020	49	- 0,245	94	- 0,470	139	- 0,695	184	- 0,920
5	- 0,025	50	- 0,250	95	- 0,475	140	- 0,700	185	- 0,925
6	- 0,030	51	- 0,255	96	- 0,480	141	- 0,705	186	- 0,930
7	- 0,035	52	- 0,260	97	- 0,485	142	- 0,710	187	- 0,935
8	- 0,040	53	- 0,265	98	- 0,490	143	- 0,715	188	- 0,940
9	- 0,045	54	- 0,270	99	- 0,495	144	- 0,720	189	- 0,945
10	- 0,050	55	- 0,275	100	- 0,500	145	- 0,725	190	- 0,950
11	- 0,055	56	- 0,280	101	- 0,505	146	- 0,730	191	- 0,955
12	- 0,060	57	- 0,285	102	- 0,510	147	- 0,735	192	- 0,960
13	- 0,065	58	- 0,290	103	- 0,515	148	- 0,740	193	- 0,965
14	- 0,070	59	- 0,295	104	- 0,520	149	- 0,745	194	- 0,970
15	- 0,075	60	- 0,300	105	- 0,525	150	- 0,750	195	- 0,975
16	- 0,080	61	- 0,305	106	- 0,530	151	- 0,755	196	- 0,980
17	- 0,085	62	- 0,310	107	- 0,535	152	- 0,760	197	- 0,985
18	- 0,090	63	- 0,315	108	- 0,540	153	- 0,765	198	- 0,990
19	- 0,095	64	- 0,320	109	- 0,545	154	- 0,770	199	- 0,995
20	- 0,100	65	- 0,325	110	- 0,550	155	- 0,775	200	- 1,000
21	- 0,105	66	- 0,330	111	- 0,555	156	- 0,780		
22	- 0,110	67	- 0,335	112	- 0,560	157	- 0,785		
23	- 0,115	68	- 0,340	113	- 0,565	158	- 0,790		
24	- 0,120	69	- 0,345	114	- 0,570	159	- 0,795		
25	- 0,125	70	- 0,350	115	- 0,575	160	- 0,800		
26	- 0,130	71	- 0,355	116	- 0,580	161	- 0,805	100	- 0,500
27	- 0,135	72	- 0,360	117	- 0,585	162	- 0,810	200	- 1,000
28	- 0,140	73	- 0,365	118	- 0,590	163	- 0,815	300	- 1,500
29	- 0,145	74	- 0,370	119	- 0,595	164	- 0,820	400	- 2,000
30	- 0,150	75	- 0,375	120	- 0,600	165	- 0,825	500	- 2,500
31	- 0,155	76	- 0,380	121	- 0,605	166	- 0,830	600	- 3,000
32	- 0,160	77	- 0,385	122	- 0,610	167	- 0,835	700	- 3,500
33	- 0,165	78	- 0,390	123	- 0,615	168	- 0,840	800	- 4,000
34	- 0,170	79	- 0,395	124	- 0,620	169	- 0,845	900	- 4,500
35	- 0,175	80	- 0,400	125	- 0,625	170	- 0,850	1000	- 5,000
36	- 0,180	81	- 0,405	126	- 0,630	171	- 0,855		
37	- 0,185	82	- 0,410	127	- 0,635	172	- 0,860		
38	- 0,190	83	- 0,415	128	- 0,640	173	- 0,865		
39	- 0,195	84	- 0,420	129	- 0,645	174	- 0,870		
40	- 0,200	85	- 0,425	130	- 0,650	175	- 0,875		
41	- 0,205	86	- 0,430	131	- 0,655	176	- 0,880		
42	- 0,210	87	- 0,435	132	- 0,660	177	- 0,885		
43	- 0,215	88	- 0,440	133	- 0,665	178	- 0,890		
44	- 0,220	89	- 0,445	134	- 0,670	179	- 0,895		
45	- 0,225	90	- 0,450	135	- 0,675	180	- 0,900		

Disposição relativa

Bases - Junta

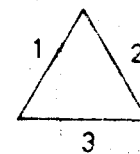


TABELA III - CÁLCULO DE ABERTURAS DE JUNTAS

$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)	$\Delta_2 + \Delta_1$ (0,01 mm)	Abertura (mm)
1	- 0,003	35	- 0,101	69	- 0,199	103	- 0,297	137	- 0,395	171	- 0,494	700	- 2,021
2	- 0,006	36	- 0,104	70	- 0,202	104	- 0,300	138	- 0,398	172	- 0,497	800	- 2,309
3	- 0,009	37	- 0,107	71	- 0,205	105	- 0,303	139	- 0,401	173	- 0,499	900	- 2,598
4	- 0,012	38	- 0,110	72	- 0,208	106	- 0,306	140	- 0,404	174	- 0,502	1000	- 2,887
5	- 0,014	39	- 0,113	73	- 0,211	107	- 0,309	141	- 0,407	175	- 0,505		
6	- 0,017	40	- 0,115	74	- 0,214	108	- 0,312	142	- 0,410	176	- 0,508		
7	- 0,020	41	- 0,118	75	- 0,217	109	- 0,315	143	- 0,413	177	- 0,511		
8	- 0,023	42	- 0,121	76	- 0,219	110	- 0,318	144	- 0,416	178	- 0,514		
9	- 0,026	43	- 0,124	77	- 0,222	111	- 0,320	145	- 0,419	179	- 0,517		
10	- 0,029	44	- 0,127	78	- 0,225	112	- 0,323	146	- 0,421	180	- 0,520		
11	- 0,032	45	- 0,130	79	- 0,228	113	- 0,326	147	- 0,424	181	- 0,523		
12	- 0,035	46	- 0,133	80	- 0,231	114	- 0,329	148	- 0,427	182	- 0,525		
13	- 0,038	47	- 0,136	81	- 0,234	115	- 0,332	149	- 0,430	183	- 0,528		
14	- 0,040	48	- 0,139	82	- 0,237	116	- 0,335	150	- 0,433	184	- 0,531		
15	- 0,043	49	- 0,141	83	- 0,240	117	- 0,338	151	- 0,436	185	- 0,534		
16	- 0,046	50	- 0,144	84	- 0,242	118	- 0,341	152	- 0,439	186	- 0,537		
17	- 0,049	51	- 0,147	85	- 0,245	119	- 0,344	153	- 0,442	187	- 0,540		
18	- 0,052	52	- 0,150	86	- 0,248	120	- 0,346	154	- 0,445	188	- 0,543		
19	- 0,055	53	- 0,153	87	- 0,251	121	- 0,349	155	- 0,447	189	- 0,546		
20	- 0,058	54	- 0,156	88	- 0,254	122	- 0,352	156	- 0,450	190	- 0,548		
21	- 0,061	55	- 0,159	89	- 0,257	123	- 0,355	157	- 0,453	191	- 0,551		
22	- 0,064	56	- 0,162	90	- 0,260	124	- 0,358	158	- 0,456	192	- 0,554		
23	- 0,067	57	- 0,165	91	- 0,263	125	- 0,361	159	- 0,459	193	- 0,557		
24	- 0,069	58	- 0,167	92	- 0,266	126	- 0,364	160	- 0,462	194	- 0,560		
25	- 0,072	59	- 0,170	93	- 0,268	127	- 0,367	161	- 0,465	195	- 0,563		
26	- 0,075	60	- 0,173	94	- 0,271	128	- 0,370	162	- 0,468	196	- 0,566		
27	- 0,078	61	- 0,176	95	- 0,274	129	- 0,372	163	- 0,471	197	- 0,569		
28	- 0,081	62	- 0,179	96	- 0,277	130	- 0,375	164	- 0,473	198	- 0,572		
29	- 0,084	63	- 0,182	97	- 0,280	131	- 0,378	165	- 0,476	199	- 0,574		
30	- 0,087	64	- 0,185	98	- 0,283	132	- 0,381	166	- 0,479	200	- 0,577		
31	- 0,089	65	- 0,188	99	- 0,286	133	- 0,384	167	- 0,482	300	- 0,866		
32	- 0,092	66	- 0,191	100	- 0,289	134	- 0,387	168	- 0,485	400	- 1,155		
33	- 0,095	67	- 0,193	101	- 0,292	135	- 0,390	169	- 0,488	500	- 1,443		
34	- 0,098	68	- 0,196	102	- 0,294	136	- 0,393	170	- 0,491	600	- 1,732		

Disposição  
relativa

Bases - Junta

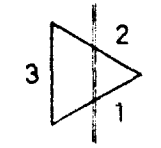
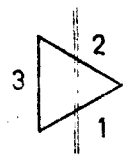


TABELA IV - CÁLCULO DE DESLIZAMENTOS

$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)	$\Delta 1 - \Delta 2$ (0,01 mm)	Desliz. (mm)
1	+ 0,005	35	+ 0,175	69	+ 0,345	103	+ 0,515	137	+ 0,685	171	+ 0,855	700	+ 3,500
2	+ 0,010	36	+ 0,180	70	+ 0,350	104	+ 0,520	138	+ 0,690	172	+ 0,860	800	+ 4,000
3	+ 0,015	37	+ 0,185	71	+ 0,355	105	+ 0,525	139	+ 0,695	173	+ 0,865	900	+ 4,500
4	+ 0,020	38	+ 0,190	72	+ 0,360	106	+ 0,530	140	+ 0,700	174	+ 0,870	1000	+ 5,000
5	+ 0,025	39	+ 0,195	73	+ 0,365	107	+ 0,535	141	+ 0,705	175	+ 0,875		
6	+ 0,030	40	+ 0,200	74	+ 0,370	108	+ 0,540	142	+ 0,710	176	+ 0,880		
7	+ 0,035	41	+ 0,205	75	+ 0,375	109	+ 0,545	143	+ 0,715	177	+ 0,885		
8	+ 0,040	42	+ 0,210	76	+ 0,380	110	+ 0,550	144	+ 0,720	178	+ 0,890		
9	+ 0,045	43	+ 0,215	77	+ 0,385	111	+ 0,555	145	+ 0,725	179	+ 0,895		
10	+ 0,050	44	+ 0,220	78	+ 0,390	112	+ 0,560	146	+ 0,730	180	+ 0,900		
11	+ 0,055	45	+ 0,225	79	+ 0,395	113	+ 0,565	147	+ 0,735	181	+ 0,905		
12	+ 0,060	46	+ 0,230	80	+ 0,400	114	+ 0,570	148	+ 0,740	182	+ 0,910		
13	+ 0,065	47	+ 0,235	81	+ 0,405	115	+ 0,575	149	+ 0,745	183	+ 0,915		
14	+ 0,070	48	+ 0,240	82	+ 0,410	116	+ 0,580	150	+ 0,750	184	+ 0,920		
15	+ 0,075	49	+ 0,245	83	+ 0,415	117	+ 0,585	151	+ 0,755	185	+ 0,925		
16	+ 0,080	50	+ 0,250	84	+ 0,420	118	+ 0,590	152	+ 0,760	186	+ 0,930		
17	+ 0,085	51	+ 0,255	85	+ 0,425	119	+ 0,595	153	+ 0,765	187	+ 0,935		
18	+ 0,090	52	+ 0,260	86	+ 0,430	120	+ 0,600	154	+ 0,770	188	+ 0,940		
19	+ 0,095	53	+ 0,265	87	+ 0,435	121	+ 0,605	155	+ 0,775	189	+ 0,945		
20	+ 0,100	54	+ 0,270	88	+ 0,440	122	+ 0,610	156	+ 0,780	190	+ 0,950		
21	+ 0,105	55	+ 0,275	89	+ 0,445	123	+ 0,615	157	+ 0,785	191	+ 0,955		
22	+ 0,110	56	+ 0,280	90	+ 0,450	124	+ 0,620	158	+ 0,790	192	+ 0,960		
23	+ 0,115	57	+ 0,285	91	+ 0,455	125	+ 0,625	159	+ 0,795	193	+ 0,965		
24	+ 0,120	58	+ 0,290	92	+ 0,460	126	+ 0,630	160	+ 0,800	194	+ 0,970		
25	+ 0,125	59	+ 0,295	93	+ 0,465	127	+ 0,635	161	+ 0,805	195	+ 0,975		
26	+ 0,130	60	+ 0,300	94	+ 0,470	128	+ 0,640	162	+ 0,810	196	+ 0,980		
27	+ 0,135	61	+ 0,305	95	+ 0,475	129	+ 0,645	163	+ 0,815	197	+ 0,985		
28	+ 0,140	62	+ 0,310	96	+ 0,480	130	+ 0,650	164	+ 0,820	198	+ 0,990		
29	+ 0,145	63	+ 0,315	97	+ 0,485	131	+ 0,655	165	+ 0,825	199	+ 0,995		
30	+ 0,150	64	+ 0,320	98	+ 0,490	132	+ 0,660	166	+ 0,830	200	+ 1,000		
31	+ 0,155	65	+ 0,325	99	+ 0,495	133	+ 0,665	167	+ 0,835	300	+ 1,500		
32	+ 0,160	66	+ 0,330	100	+ 0,500	134	+ 0,670	168	+ 0,840	400	+ 2,000		
33	+ 0,165	67	+ 0,335	101	+ 0,505	135	+ 0,675	169	+ 0,845	500	+ 2,500		
34	+ 0,170	68	+ 0,340	102	+ 0,510	136	+ 0,680	170	+ 0,850	600	+ 3,000		

Disposição  
relativa  
Bases - Junta



## CAP. VI - MEDIÇÃO DA HUMIDADE

### 1 - GENERALIDADES

O teor de humidade que é expresso em termos de percentagem do peso de água absorvida ou adsorvida por um sólido define-se geralmente como sendo a quantidade de água existente num dado corpo, em relação ao peso seco do mesmo ou do seu peso húmido. Se fôr ( $m_h$ ) o peso do corpo hidratado e ( $m_s$ ) o peso do mesmo considerado seco, o teor de humidade é então dado por:

$$h = \frac{m_h - m_s}{m_s}$$

ou ainda

$$h = \frac{m_h - m_s}{m_h}$$

Uma ou outra destas fórmulas é habitualmente usada. Em princípio, a primeira deve ser a preferida, visto que o peso seco tem a vantagem de constituir uma base invariável.

A água incorporada num material pode sê-lo de várias formas:

- Água de constituição - integrada nas moléculas por reacção química
- Água estrutural, ou água de hidratação - que participa na cristalização de certas substâncias
- Água higroscópica - que em relação às forças que a retêm no sólido, é subdividida em:
  - a) água de absorção
  - b) água capilar
  - c) outros tipos de água, mal definidos e conhecidos, no actual estado de conhecimento, como seja a água zeolítica ou água sólida.



Em geral o conceito de humidade dum material refere-se à água higroscópica, admitindo-se que é possível eliminá-la por acções físicas, fenómeno esse reversível, um e outro não dando origem a modificação da estrutura fundamental ou da composição química do material. Estas acções físicas podem em muitos casos ser reduzidas a modificações das condições circundantes: temperatura e pressão do vapor.

Nos interstícios dos corpos porosos, a água é retida por forças de capilaridade, de adsorção e forças osmóticas abrangidas na designação geral de "forças de sucção". Sem ir ao detalhe do mecanismo destas forças, a sucção dum corpo poroso húmido é definida como sendo a depressão a que a água pura deve ser submetida, em contacto com este corpo, a fim de que não haja trocas entre a água e o corpo. Esta depressão será tanto maior quanto mais seco está o material.

Numa atmosfera húmida, um corpo higroscópico absorve água até que a pressão do vapor circundante equilibre a pressão do vapor da água absorvida. Inversamente, a pressão do vapor na vizinhança imediata dum corpo depende do seu teor de humidade.

A perda de humidade do betão é acompanhada dum retracção que pode dar origem a fissuras que poderão dar lugar, por sua vez, a um rápido incremento da secagem e aos perigos da desagregação pelo gelo. Por outro lado, numa obra hidráulica, o betão em contacto directo com a água sofre um aumento de volume e, além disso, a presença de fissuras diminui a estanquidade. É, pois, muito importante conhecer o teor de humidade dos diversos pontos e a sua variação em função do tempo, para julgar do comportamento da obra. A determinação desta grandeza, "in situ", por meio de telemedidores, traz uma contribuição nova para o conhecimento do comportamento do betão.

Para se fazer compreender o sentido das indicações fornecidas pelo telehumímetro, é útil relembrar certas noções fundamentais. A pasta de

cimento prestes a ganhar presa compõe-se de cimento, areia e água de amassadura; o betão de cimento é uma mistura desta pasta com brita. Uma pequena parte da água de amassadura (cerca de 18%) é ligada quimicamente no começo da presa; a maior parte fica retida por adsorção e capilaridade nos poros da pasta. Parte desta água pode ser eliminada, quer por evaporação quer por reacção química lenta. Resulta daí que a pasta de cimento ou o betão numa obra perdem água pouco a pouco, numa proporção que depende das condições atmosféricas e da orientação das diferentes partes da obra. Em particular, o grau de secagem pode diminuir se, por exemplo, a água se infiltra na obra em seguida à formação de fissuras.

Para o betão, o grau de secagem é relativo ao peso de argamassa que entra na sua composição.

O grau de secagem absoluto nunca é atingido em obra; considera-se como seca uma obra cujo grau de secagem é de 3 a 4%.

Há vários processos para determinação de teores de humidade quer em laboratório quer "in situ". Referir-nos-emos apenas a alguns métodos e aparelhos usados entre nós, para as medições "in situ".

## 2 - TELEHIGRÓMETRO BRASEY

Este aparelho (fig. VI-1) permite determinar o grau de secagem da argamassa e do betão. É constituído por um corpo cilíndrico (fig. VI-2) que contém uma substância susceptível de reagir electroliticamente ao teor de humidade, pela câmara de ligação do cabo (3), pelo casquilho de ajustamento (4), destinado a absorver os esforços mecânicos exercidos sobre o cabo, e finalmente pelo cabo condutor de ligação eléctrica (5). O revestimento (1) é de composição análoga à do betão a fim de obter uma boa ligação e assegurar o equilíbrio higrométrico entre o betão da obra e do telehigrómetro. A substância electrolítica (2) apresenta as mesmas propriedades do betão relativamente à molhagem e secagem. Os dois electródos (5) e

6 são ligados aos dois fios condutores (7) e (8) do cabo de ligação. O aparelho no momento da colocação deve estar num estado de máxima humidade, para o que é necessário colocá-lo previamente em água até que fique saturado. A partir da sua colocação, estabelece-se uma troca de água entre o aparelho e o betão circundante até que se estabeleça o equilíbrio entre os dois. A variação do teor de humidade tem por consequência uma variação correspondente da resistência (R) da massa electrolítica (2) que é medida por meio de um aparelho indicador (fig. VI-3). Uma prévia calibração indica para cada aparelho a que grau de secagem correspondem as indicações do instrumento de leitura.

A resistência electrolítica varia com a temperatura; para isto é necessário que a sua determinação seja acompanhada simultaneamente com a da temperatura na vizinhança imediata do aparelho. Este aparelho é fornecido com um cabo especial de 1 m de comprimento.

As dimensões do aparelho são as seguintes:

Diâmetro	- 45 mm
Comprimento	- 240 mm
Peso com cabo de 1 m	- 1,070 kg

A medição da resistência electrolítica (R) deve fazer-se em corrente alterna. O indicador é alimentado por uma potência de 4 a 8 V, por meio de um transformador que um selector de tensão permite ligar em tensões de 110, 125, 150, 220 ou 240 volts. O instrumento (fig. VI-3) é ligado à rede pela tomada (2). O botão (3) é o interruptor que permite ligar e desligar o aparelho. O telehigrómetro é ligado nos terminais (4). Se o cabo de ligação do telehigrómetro é munido dum ficha terminal, a conexão com o indicador faz-se por meio dum cabo especial que se liga na ficha (5). O interruptor (6) permite curta-circuitar os terminais (4) e a ficha (5) para o controle do instrumento. A compensação da influência da temperatura do

instrumento indicador é obtida por meio de dois potenciômetros comandados pelos botões (7) e (8). A escala (9) do galvanómetro, de grande sensibilidade, apresenta uma graduação de fácil leitura. O aparelho é montado sobre uma caixa de madeira (10), que garante a protecção contra as poeiras e os choques.

O aparelho indicador de leitura tem as seguintes dimensões:

Altura	- 350 mm
Largura	- 280 mm
Profundidade	- 160 mm
Peso	- 7,7 kg

Cada aparelho Brasey é acompanhado de uma ficha de calibração.

### 3 - MEDIDOR DE HUMIDADE DE PLACAS

Nas barragens portuguesas tem sido usado outro tipo de aparelho medidor que consiste essencialmente em duas placas de cobre que são embebidas no betão da barragem e entre as quais se mede a resistência eléctrica do betão. Outro aparelho idêntico a este, que funciona como corrector, é hermeticamente fechado dentro duma caixa de cobre, depois de cheia de betão (fig. VI-4). As leituras da resistência eléctrica entre as placas é feita por meio de uma ponte "Philips" ("Philiscópio") (figs. VI-5 e 6). A diferença das leituras do aparelho e do corrector, dá-nos a indicação do aumento ou diminuição de humidade no betão da barragem, expressa em variações de resistência.

Deve frizar-se, porém, que as medições feitas com este aparelho devem ser muito falíveis, visto que se desenvolvem entre os pratos do medidor e o betão elevadas resistências de contacto as quais variam ao longo do tempo que devem eivar de fortes erros as leituras realizadas. Por outro lado, é difícil garantir a estagnidade do medidor de humidade corrector. Por estes motivos, este aparelho deverá vir a ser abandonado, tan

to mais que se dispõe de outros medidores para o mesmo efeito, baseados noutros princípios construtivos e de funcionamento bastante mais dignos de confiança. No entanto, como ainda se está a proceder, em algumas barragens, a medições com este aparelho, indicam-se seguidamente as instruções para a realização das leituras com o "Philiscópio" utilizado nas medições efectuadas nas barragens do rio Cávado (tipo GM 4144) (fig. VI-6 ).

- a) Verificar na face posterior da caixa do aparelho se os fusíveis são os adequados à voltagem da corrente de alimentação.
- b) Colocar o comutador (EXT.-INT.) na posição (INT.) e o (C-R) na posição (R).
- c) Ligar a ficha (F) de alimentação a uma tomada de corrente e um fio de terra ao terminal (T).
- d) Ligar o medidor de humidade aos dois terminais (R) à esquerda do painel.
- e) Regular a sensibilidade do triângulo de sombra com o botão (1) e procurar a gama de medida (10,  $10^2$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  e %) com o botão (2).  
Nos medidores de humidade de placas a gama de medida costuma andar à volta de ( $10^3$ ).
- f) As leituras fazem-se nas escalas (I, II ou %) conforme a indicação do botão (2).
- g) Fazer a leitura com o auxílio do botão (3). A leitura fica feita quando o triângulo de sombra atinge a maior superfície.
- h) Multiplicar o resultado obtido por 10, 100, 1 000, 10 000, 100 000 ou 1 000 000 conforme a gama de medida escolhida for respectivamente ( $10$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$  ou  $10^6$ ).

## 4 - TELEHIGRÓMETRO GEOELÉCTRICO

Neste aparelho desenvolvido no Serviço de Geotecnia do L.N.E.C. foi posta de parte a ideia de medir a variação da resistência eléctrica dos materiais, em função do teor de humidade. Passa-se a aplicar o conceito de resistividade eléctrica (resistência eléctrica específica), o que permite obter grandes simplificações, e obviar à maior parte dos inconvenientes atrás apontados. Os problemas do envelhecimento e da variação das resistências de contacto dos eléctrodos com o material em estudo, ficarão praticamente solucionados, ao mesmo tempo que se eliminam as dificuldades relativas à aferição e controle das montagens (os valores da resistividade são independentes do tipo de montagem adoptado).

A condutibilidade da corrente eléctrica através do betão efectua-se fundamentalmente, sob o ponto de vista da física molecular, por dois processos distintos: condutibilidade electrónica e electrolítica. Enquanto a primeira, idêntica à dos metais, é devida ao movimento dos electrões livres, a segunda resulta do transporte dos iões contidos nos electrólitos da fase líquida do betão. De uma maneira geral, a condutibilidade eléctrica do material processa-se quase exclusivamente através da fase líquida. A maioria dos materiais existentes na natureza, e que constituem a fase sólida do betão, apresentam uma condutibilidade praticamente nula, quando isentos de humidade.

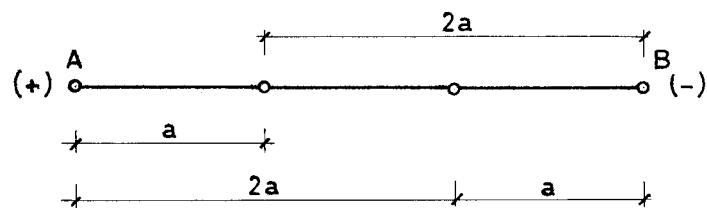
A fase líquida poderá então desempenhar um papel de grande relevo, no condicionamento da condutibilidade total, quer favorecendo o contacto eléctrico entre as partículas do sólido, enchendo a maior parte dos vazios, quer conduzindo directamente a corrente através dos electrólitos que contém. Deste modo, a resistividade eléctrica do conjunto será grandemente influenciada pela quantidade total de água (livre, de capilaridade e adsorvida) existente no betão e pela resistividade da própria água.

A fase gasosa considera-se, para o efeito, como isolante.

À medida que o teor de humidade do betão vai aumentando, a partir da secura, a sua resistividade eléctrica baixa muito rapidamente, para depois variar mais lentamente à medida que nos aproximamos do ponto de saturação, segundo uma lei que se poderá traduzir aproximadamente pelo gráfico apresentado na fig. VI-7 .

O comportamento dos betões, sob o ponto de vista da sua resistividade eléctrica, dependerá ainda da forma sob a qual se encontra a água que constitui a fase líquida.

A fórmula que relaciona a resistividade com o potencial e a intensidade de corrente, para sólidos semi-indefinidos e para um medidor em que os eléctrodos tenham a distribuição indicada no esquema abaixo.



é a seguinte:

$$\rho = 4 \pi a \frac{\Delta V}{I} \quad \text{no interior}$$

e

$$\rho = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I} \quad \text{à superfície}$$

As resistências de contacto são eliminadas visto que o cociente  $(\frac{\Delta V}{I})$  se mantém constante mesmo que variem os valores das resistências eléctricas de contacto.

O telehigrómetro geoelectrico (fig. VI-8 ) é constituído por um tubo de material isolante no interior do qual se alojam os condutores eléctricos, que são, por sua vez ligados a 4 anéis de latão (eléctrodos).

Entre os dois eléctrodos extremos medem-se os valores de  $\Delta V$  (convém que sejam de aço inoxidável) e a intensidade de corrente é medida entre os eléctrodos centrais. Depois de estabelecidas as ligações, completa-se o enchimento do leito com asfalto.

Nas determinações "in situ" usa-se, a seguinte aparelhagem que se indica a seguir e cujo esquema de ligação se pode ver na fig. VI-9.

a) Um gerador de corrente contínua constituído por uma série de pilhas secas e com várias tomadas (por exemplo até 90 ou 180 V).

b) Um miliamperímetro com um campo de leitura superior a 100 mA e uma precisão de 0,5%. Utilizamos como miliamperímetro um aparelho multímetro "Metrix", que dá a precisão suficiente.

c) Um milivoltímetro para corrente contínua que permita observar diferenças de potencial até cerca de 10 V, com uma precisão de leitura de 0,01 mV. Utilizamos um milivoltímetro electrónico "Transranger da British Physical Laboratories".

d) Uma ponte de equilíbrio de potenciais, constituída por uma pilha de baixa voltagem.

A montagem faz-se segundo o esquema indicado na fig. VI-9.

O gerador de corrente contínua fornece correntes até cerca de 100 mA, mas normalmente mais baixas (da ordem de 4 a 5 mA), destinadas à manutenção do campo de potenciais e que circulam entre os eléctrodos extremos do telehigrómetro, fechando-se o circuito através do betão. O miliamperímetro instalado no circuito destina-se a medir a intensidade da corrente estabelecida.

O milivoltímetro destina-se a medir a diferença de potencial que, após o fornecimento da corrente, se estabelece entre os eléctrodos intermédios do telehigrómetro. Neste circuito, intercala-se a ponte de equilíbrio de potenciais, que se destina a, antes de estabelecido o campo de



potenciais que nos interessa, fazer a compensação das correntes de terra, polarização, contactos, etc., que eventualmente possam existir entre os eléctrodos intermédios do telehigrómetro.

A fig. VI-10 é suficientemente explícita sobre as ligações a fazer. Um dos eléctrodos extremos liga-se à alimentação pretendida, enquanto o outro se liga ao amperímetro. Os dois eléctrodos intermédios ligam-se à ponte de equilíbrio de potenciais, e, por intermédio desta, ao milivoltímetro. Antes de se fechar o circuito por intermédio do interruptor (I), faz-se a leitura do milivoltímetro, que acusará a existência das correntes parasitas. Actua-se então com a ponte de equilíbrio de potenciais. O quadro de comando desta ponte é constituído por dois interruptores e dois botões. Estabelecida a ligação por intermédio daqueles, rodam-se os botões de forma a anular o potencial acusado pelo milivoltímetro. Efectuada esta operação, fecha-se o circuito, e lêem-se o miliamperímetro e o milivoltímetro.

O miliamperímetro utilizado, que é, como dissemos, um Metrix, é de aplicação corrente, e, por esse motivo, não nos deteremos a descrever por menores relativos à sua utilização.

Sobre o milivoltímetro particular que o L.N.E.C. possui para esta aplicação, diremos o fundamental para a sua utilização correcta.

Trata-se de um aparelho alimentado por pilhas de  $4\frac{1}{2}$  V e  $1\frac{1}{2}$  V incorporadas, de pequenas dimensões e bastante leve. Todas estas características são vantajosas para as aplicações de campo. O aparelho permite ler potenciais até 300 V, resistências, e intensidades até 1 m A. A utilização que nos interessa é a leitura de potenciais. Para isso, possui o aparelho uma escala graduada de 0 a 100, cujo fim de escala pode corresponder, por actuação de um botão comutador, a 100 mV, 300 mV, 1 V, 3 V, 10 V, 30V, 100 V e 300 V. São os três primeiros fins de escala que normalmente poderão interessar para a leitura dos telehigrómetros.

Do quadro de comando deste aparelho constam ainda: do lado esquerdo, um manípulo com 3 posições: (SET VOLT), (OPERATE) e (CALIBRATION) ; sob o quadro com as escalas, 3 botões de controle com a designação (SET VOLT) (SET ZERO) e (CALIBRATION), do lado direito, os terminais marcados (+) e (-) para fazer as ligações do exterior ao aparelho.

Antes de fazer a utilização do milivoltímetro, há que fazer o seguinte:

Rode-se o botão comutador para a posição indicadora do fim de escala pretendido. Com o manípulo na posição (OPERATE), ajustar a agulha indicadora ao zero colocado à esquerda da escala, rodando o controle (SET ZERO). Premindo o manípulo na posição (SET VOLT), ajusta-se a agulha para indicar exactamente o fim da escala, por meio do controle (SET VOLT). Finalmente, premindo o manípulo para a posição (CALIBRATION), ajusta-se de novo a agulha medidora para o fim da escala, rodando o controle (CALIBRATION).

Feitas estas operações, dir-se-á que o milivoltímetro está devidamente calibrado. Então, estabelecer-se-ão as ligações segundo a figura mas antes de se fechar o circuito por intermédio do interruptor (I), far-se-á a compensação de potenciais tal como se descreveu anteriormente. Fechado o circuito, far-se-á finalmente, a leitura no milivoltímetro.

#### 5 - TELEHIGRÓMETRO DE CORDA VIBRANTE

Este aparelho, desenvolvido no Serviço de Geotecnia do L.N.E.C., destina-se a medir o teor de humidade e baseia-se no princípio de que a humidade relativa numa cavidade dum material poroso é uma função do teor de humidade na vizinhança da cavidade. Assim, medindo a humidade relativa na cavidade, pode obter-se o teor de humidade do material poroso, se se tiver determinado previamente em laboratório a relação entre aquelas duas grandezas.

Sabe-se, de facto, que um material poroso, colocado a certa temperatura num local com certa humidade relativa (H), alcança um teor de humidade de equilíbrio (W), função das suas características e da humidade relativa do ar. Assim, para cada material poroso, existe uma função do tipo

$$W = f(H) \dots \dots (1)$$

Inversamente, se se fizer uma cavidade num material poroso, com um dado teor de humidade, a humidade relativa nessa cavidade é uma função do teor de humidade do material,

$$H = f_1(W) \dots \dots (2)$$

E, portanto, determinada a relação (2) para um dado corpo, é possível determinar o seu teor de humidade a partir do valor da humidade relativa, medida numa cavidade feita no seu interior. É então possível, depois de ensaios de calibração em laboratório, determinar o teor da humidade "in situ", medindo a humidade relativa por um higrómetro, colocado numa cavidade, no ponto a observar. Enquanto se requer que, para medidas em laboratório, os higrómetros tenham alta sensibilidade e rápida resposta, no campo, o mais importante é que o higrómetro se mantenha fiel por longos períodos. É também importante, poder dispor-se de leituras remotas, de maneira a que se possa colocar o higrómetro numa cavidade do material, preparado durante a construção, e ler no exterior os valores da humidade relativa, depois da estrutura concluída.

O telehigrómetro, desenvolvido no Serviço de Geotecnia, é baseado no princípio das variações de comprimento induzidas por variações de humidade em certos materiais higroscópicos e na medição destas variações por meio de um extensómetro de corda vibrante. Escolheu-se um extensómetro de grande fidelidade ao longo do tempo, e também caracterizado por uma grande sensibilidade. As extensões do fio são apenas influenciadas pelas ex

tensões do material higroscópico e, conseqüentemente, pelas variações da humidade. O efeito da humidade sobre estes materiais deverá ser reversível. Por outro lado os materiais deverão, tanto quanto possível, apresentar uma resposta rápida, um mínimo de histerésis e serem pouco influenciados pelas variações de temperatura. Foram estudados vários materiais para o efeito, mas viu-se ser a madeira dura a mais adequada. É um material muito sensível às variações da humidade do ar, com pequena histerésis, e tem grande durabilidade, que pode ser aumentada por tratamento prévio. A rapidez da resposta depende da espessura e da superfície exposta.

O telehigrómetro (fig. VI-11) tem como elemento sensível ao estado higrométrico, 8 ripas de carvalho antigo americano ou casquinha da zona do cerne, cortado longitudinalmente e tratado previamente, de 16 cm de comprimento, dispostas à roda de duas cabeças circulares de latão às quais estão ligadas por parafusos. Segundo o eixo das cabeças e fixa a elas por duas placas apertadas por parafusos, encontra-se a corda vibrante de aço, que se excita por um electroímã. Todo o conjunto extensométrico está metido dentro de uma manga de latão com um fole de ouro mouro.

As variações da humidade relativa ao material em contacto com a célula induzem variações de comprimento nas ripas de madeira e conseqüentemente variações de tensão da corda.

As extensões são medidas com os aparelhos de leitura dos extensómetros acústicos - "Maihak", "Coyne" ou tensómetro catódico. As instruções para a leitura dos extensómetros acústicos são referidas adiante.

A calibração dos telehigrómetros é levada a efeito em ambientes onde a humidade relativa é mantida constante por meio de soluções de ácido sulfúrico com densidades adequadas.

É de notar que este método de determinação do teor com a humidade não pode ser usado para humidades acima de determinados valores, variáveis com o solo ou betão a que se aplica.

De facto, tendo como base a relação existente entre a humidade relativa (H) e o teor em humidade (W), característica de cada material

$$H = f (W)$$

quando  $H = 100\%$ , (W) pode aumentar indefinidamente sem que (H) varie, visto se ter atingido a saturação do ambiente.

O valor de (W) correspondente a 100% depende do material.

O campo de aplicação deste método, é, portanto variável e está condicionado pela curva higrométrica do material a que pretende aplicar-se.

## CAP. VII - MEDIÇÃO DA PRESSÃO DA ÁGUA NOS POROS DO BETÃO

### 1 - MEDIDOR DE PRESSÃO CARLSON ("CARLSON PORE PRESSURE METER")

A medição da pressão da água nos poros do betão ou pressão neutra tem muito interesse pois fornece uma indicação segura de como se está processando a percolação da água da albufeira através da obra.

Entre nós, tem sido utilizado com êxito o medidor de pressão tipo Carlson (fig. VII-1). Este medidor de pressão consiste essencialmente num bolbo cilíndrico possuindo internamente um diafragma. Um filtro de argamassa porosa fica submetido a uma pressão igual à pressão da água nos poros do betão circundante. Essa pressão é transmitida à água (ou a uma substância gelatinosa de resposta rápida) dentro do bolbo e vai de formar o diafragma elásticamente. Esta deformação é medida por uma unidade extensométrica do tipo das montadas nos extensómetros Carlson e que serão descritas adiante.

As constantes deste aparelho variam com a espessura e o metal de que é feito o diafragma, mas, em regra, são da ordem de grandeza de  $0,07 \text{ kg/cm}^2$  por  $0,0001$  de variação da relação de resistência com um campo total de  $15 \text{ kg/cm}^2$ , a resistência total a  $21^\circ\text{C}$  é de  $75 \Omega$  e, finalmente, a resistência total aumenta de  $1 \Omega$  para cada aumento de temperatura de  $4,5^\circ\text{C}$ .

O espaço entre a argamassa porosa e o diafragma é preenchido com água ou geleia de petróleo, antes do começo da aplicação, sendo, assim, feita instantaneamente a transmissão da pressão.

Os cálculos das pressões são feitos a partir da expressão

$$p = \left[ (r - r_0) + \Delta t (t - t_0) \right] \pi$$

em que

- $p$  - pressão nos poros na época considerada,
- $r_0$  - relação das resistências no instante inicial, após a colocação e para a pressão nula,
- $r$  - idem na época considerada,
- $t_0$  - temperatura do betão no instante inicial, medida com o aparelho, tal como adiante se observará ao tratar dos termómetros de resistência,
- $t$  - idem na época considerada,
- $\pi$  - constante de calibração do aparelho, isto é, variação de pressão por cada 0,0001 de variação da relação das resistências do elemento extensométrico,
- $\Delta t$  - correcção de temperatura, ou seja, variação da relação das resistências por cada 1°C de variação da temperatura.

## CAP. VIII - MEDIÇÃO DE SUB-PRESSÕES

### 1 - TOMADAS DE PRESSÃO

A medição de sub-pressões na rocha de fundação ou na junta betão-rocha foi feita pela primeira vez na barragem do Cabril. Para esse fim foram feitos com uma sonda ou com um super-martelo furos através das galerias, até uma profundidade de cerca de meio metro na rocha. Em seguida foram introduzidos tubos de ferro nesses furos e injectados para garantir a sua ligação. Como a injeção obturou esses tubos foram abertos no vos furos através dos tubos até a rocha ter sido perfurada 2 a 3 m. As extremidades superiores dos tubos foram então ligados manómetros que per mitem a medição do valor da sub-pressão existente e portanto a obtenção da sua variação no tempo para o que basta abrir a torneira superior em cada época. Esta montagem está esquemáticamente representada na fig.VIII-1.

Outra montagem consiste em colocar o tubo metálico antes da betona gem, ficando a sua extremidade inferior inserida numa meia cana de fibro cimento ou em drenos existentes na obra (fig. VIII-1). Tal como no caso anterior, o tubo metálico deve ser recto para possibilitar a furação no seu interior, no caso de a injeção o vir a obturar. Esta última monta - gem só é de aconselhar em locais em que não exista o perigo dessa obtura ção.



## CAP. IX - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

### 1 - GENERALIDADES

A medição de temperaturas em barragens reveste-se da maior importância para o completo conhecimento do comportamento da estrutura, especialmente para a interpretação de deslocamentos, extensões, tensões e aberturas de juntas, além do que as leituras da maioria dos instrumentos colocados nas estruturas são grandemente influenciadas pelas variações de temperatura, exigindo portanto uma correcção para este efeito. O conhecimento da evolução do estado térmico numa barragem pode permitir a escolha do melhor momento para a injeção das juntas.

Para completo conhecimento do estado térmico e da sua evolução, necessário se torna efectuar não só medições de temperatura no interior do betão da estrutura, como ainda no ar e na água da albufeira a diversas profundidades.

Existem aparelhos que foram especialmente concebidos só para a medição das temperaturas como sejam os pares termoeléctricos e os termómetros de resistência. Contudo os aparelhos tipo Carlson que são usados para a medição de tensões, extensões, movimentos de juntas e pressão de água nos poros do betão também funcionam como termómetros de resistência.

### 2 - TERMÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉCTRICA

Os termómetros de resistência, pròpriamente ditos, são essencialmente constituídos por uma resistência enrolada e não indutiva, encerrada num cilindro metálico. Os primeiros usados pelo L.N.E.C. (fig. IX-1) tinham um comprimento total de cerca de 30 cm e eram lidos por um aparelho especial ao qual se ligaram os dois fios condutores que provinham do

interior do medidor. Esse aparelho de leitura tinha o seu quadrante graduado em °C o que obrigava a que a calibração fosse a mesma para todos os aparelhos medidores.

Actualmente está-se usando entre nós o termómetro de resistência, representado na fig. IX-2, semelhante aos termómetros Carlson que se podem ver na fig. IX-3. O fio do enrolamento é de níquel de 0,1 mm de diâmetro, a sua resistência a 0°C é da ordem dos 26 Ω e a sua constante é da ordem de 7°C para cada ohm de variação da resistência.

Para efeitos de medições de temperatura, toda a aparelhagem Carlson funciona, como já se disse, como verdadeiro termómetro de resistência.

Os extensómetros, células, medidores de juntas e medidores de pressão de água nos poros do betão, tipo Carlson, têm como elemento medidor uma unidade extensométrica constituída essencialmente por dois enrolamentos cuja resistência eléctrica, quando colocados em série, depende unicamente da temperatura, não sendo influenciada pelas variações de comprimento da unidade extensométrica. Com efeito, os dois enrolamentos são suportados por uma estrutura metálica, de modo que quando o aparelho sofre uma deformação eles sofrem deformações iguais, mas opostas, isto é, se um enrolamento é tendido, o outro é afrouxado da mesma quantidade (fig. IX-4).

O cálculo da temperatura é feito a partir da expressão

$$T = (R - R_0) \Delta t$$

em que

T - temperatura numa dada época,

R - resistência eléctrica do termómetro nessa época,

R<sub>0</sub> - resistência eléctrica do termómetro a 0°C,

Δt - constante de calibração do termómetro, ou seja a variação de temperatura por cada ohm de variação da resistência eléctrica.

A medição das resistências dos termômetros actualmente usados e da aparelhagem Carlson é feita com a ponte Carlson descrita no Cap. X e as ligações a este aparelho assim como a indicação dos comutadores em que se deve actuar estão representados na fig. IX-5 . No caso de se tratar de um aparelho Carlson não termómetro, o condutor verde está ligado à ponte mas não é utilizado no circuito. Para fechar o circuito, como se indica no esquema da fig. IX-5 , é necessário outro condutor - encarnado - que se liga a  $(T_4)$ . Os aparelhos Carlson vêm equipados com cabo de 3 condutores - branco, preto e verde. Nas ligações ao local de leitura usa-se porém cabo de 4 condutores em que figura também o condutor encarnado. Este liga-se à saída do aparelho ao condutor branco. Os termômetros trazem cabo de 3 condutores - branco, preto e encarnado - e usa-se cabo de três condutores nas ligações ao local de leitura.

A análise da fig. IX-5 mostra que

$$\frac{r_b + r_x}{R_1 + R_2 + r_p} = \frac{50}{50}$$

donde

$$r_b + r_x = R_1 + R_2 + r_p$$

e como

$$r_b = r_p$$

vem

$$r_x = R_1 + R_2$$

A ponte Carlson permite também fazer a medição da resistência sem a introdução do condutor vermelho. Nesse caso o esquema das ligações é o indicado na fig. IX-5 . Comete-se então um erro pois, como se deduz do esquema é

$$\frac{r_x}{r_p + R_2 + R_1 + r_b} = \frac{50}{50}$$

donde

$$r_x = (R_1 + R_2) + (r_p + r_b)$$

Na barragem do Cabril efectuaram-se medições que deram para resistência de um condutor de 25 m o valor de  $0,035 \Omega$ . Portanto, neste caso, seria:

$$r_p + r_b = 0,14 \Omega$$

para 50 m.

Ora, para os extensómetros e medidores de juntas do Cabril a ordem de grandeza do inverso de  $\Delta t$ , ou seja, a variação da resistência por cada grau centígrado é respectivamente de  $0,20$  e  $0,14 \Omega$ , valores da ordem de grandeza do valor de  $(r_p + r_b)$  correspondente a 50 m. Quere dizer, não usando condutor suplementar e para um comprimento de cabo de 50 m, o erro introduzido na medição da temperatura é de cerca de  $1^\circ\text{C}$  por excesso. O erro poderá ser eliminado desde que se meça, quando da colocação o valor de  $(r_p + r_b)$  e se desconte esse valor ao valor medido.

Para a medição da resistência com condutor suplementar (vermelho) deve proceder-se da seguinte maneira:

a) Pôr o botão (A) na divisão igual ao primeiro algarismo da constante ( $R_0$ ) do aparelho que se vai ler.

b) Carregando intermitentemente no botão ( $S_3$ ) fazer parar a agulha, manejando os botões (A), (B), (C), (D). Deve tomar-se o cuidado de não levar o botão (A) para muito longe da divisão atrás citada para evitar que a agulha do galvanómetro seja lançada violentamente para o fim da escala.

c) A leitura da resistência é dada pelos algarismos do botão (A), (B), (C), (D) dando (A) as dezenas, (B) as unidades, (C) as décimas e (D) as centésimas.

Por exemplo:

A - 5  
 B - 2  
 C - 3  
 D - 1      Resistência 52,31

A medição da resistência sem condutor suplementar não interessa, em regra, senão para verificar aparelhos antes de ligados ao cabo.

Nesse caso procede-se como segue:

a) Ligam-se os condutores preto a ( $T_1$ ) e branco a ( $T_3$ ). O verde fica ou ligado a ( $T_2$ ) ou de fora.

b) Procede-se como anteriormente e fazem-se as leituras como anteriormente, premindo intermitentemente o botão ( $S_2$ ).

### 3 - PARES TERMOELÉCTRICOS

O efeito termoeléctrico foi descoberto pelo físico holandês Seebeck em 1821, mas foi António Becquerel que teve primeiro a ideia de aproveitar esta propriedade, para medir temperaturas, com um par platina-paládium. Mais tarde Pouillet (1791-1868) fez experiências sistemáticas com um par ferro-platina, mas os resultados obtidos foram poucos encorajantes por que as condições experimentais eram tais que a platina se alterava rapidamente e não conservava um poder termoeléctrico constante. Regnault (1810-1878) observou tais irregularidades no comportamento do par de Pouillet que condenou sem reservas o método termoeléctrico. Cerca de 1870, Eduardo Becquerel retomando o estudo do par termoeléctrico de seu pai mostrou a necessidade de usar um galvanómetro tendo uma forte resistência interna.

Foi Henry Le Chetelier (1850-1936) que cerca de 1900 enunciou as condições essenciais a satisfazer para que a medição dessas temperaturas pelo método termoeléctrico seja preciso e fiel.

Sejam dois fios (A) e (B), homogêneos, de materiais diferentes, soldados nas suas extremidades em (S) e (S') sendo (t) e (t') as temperaturas das soldaduras (fig. IX-6 ).

Coloquemos o condutor (A) paralelo a uma agulha magnética (N-S) em equi

líbrio com o campo magnético terrestre. Para essa experiência fundamental Seebeck utilizava uma lâmina de bismuto e uma de antimônio. Tomemos mais simples um fio de cobre associado a um de constantan.

Constata-se o fenómeno seguinte:

- se as soldaduras (S) e (S') são postas a temperaturas diferentes ( $t \neq t'$ ) a agulha magnética tende a cruzar-se com o condutor (A), ela é pois submetida a um campo magnético suplementar, criado por uma corrente de intensidade (i) que circula no circuito (AS'BSA);

- se as soldaduras (S) e (S') têm temperaturas iguais, a agulha magnética conserva a sua posição de equilíbrio.

Circulando no circuito uma corrente quando (S) e (S') têm temperaturas diferentes, existe entre as duas soldaduras uma d.d.p. (e) que depende das temperaturas (t) e (t');

- se recomeçarmos as experiências precedentes com dois fios idênticos ((A) por exemplo) não circula qualquer corrente no circuito;

- se aquecermos (A) ou (B) num ponto qualquer, suficientemente afastado das soldaduras para não lhes modificar as temperaturas, o desvio da agulha mantém-se constante.

Estas constatações podem traduzir-se no enunciado seguinte:

"Se as soldaduras (S) e (S') de dois metais diferentes (A) e (B) estão a temperaturas diferentes, existe entre elas uma diferença de potencial que apenas depende da natureza dos fios e da temperatura das soldaduras".

Pode, pois escrever-se:

$$e = f(A, B, t, t')$$

sendo f uma função desconhecida de (A, B, t e t').

O valor de (e) é independente das secções dos condutores assim como das temperaturas intermediárias entre as duas soldaduras com a indicação fundamental de que cada um dos condutores seja homogéneo em todo o seu

comprimento.

É fácil medir esta diferença de potencial com um galvanômetro intercalado entre as duas soldaduras como mostra a fig. IX-6. Se (R) é a resistência total do circuito e (i) é a intensidade da corrente que o atravessa tem-se:

$$e = R \times i$$

Quando a corrente aparece na soldadura fria circulando de (A) para (B) chama-se ao conjunto par termoeléctrico (AB), o que corresponde a enumerar em primeiro lugar o elemento positivo do par. Diz-se, por exemplo, par termoeléctrico ferro-constantan, par platina radiada-platina, par cobre-constantan.

Este efeito termoeléctrico é reversível. Em 1834 Peltier mostrou que se se faz passar uma corrente eléctrica num par, uma das soldaduras absorve calor enquanto a outra o fornece.

Se se colocar (S') no gelo fundente, admite-se por definição que se mede a força electromotriz ( $E_t$ ) debitada pela soldadura S (t).

$$E_t = f (A, B, t, 0)$$

Quando se coloca (S) no gelo fundente mede-se para uma temperatura (t') diferente de 0, a força electromotriz:

$$E_{t'} = f (A, B, 0, t')$$

e pode-se dizer que a força electromotriz (e) desenvolvida quando as soldaduras estão a temperaturas diferentes resulta da opposição das duas f.e.m. ( $E_t$ ) e ( $E_{t'}$ ), donde a relação fundamental:

$$e = E_t - E_{t'}$$

As forças electromotrices debitadas por diferentes metais ou ligas em função da temperatura são indicadas no gráfico da fig. IX-7, em que se tomou como elemento de referência a platina. Para ter a f.e.m. debita

da por um par de dois metais diferentes basta fazer a diferença algébrica das f.e.m. dos dois metais para a temperatura considerada.

No Quadro indicam-se os valores das temperaturas em função de f.e.m. de pares de cobre-constantan que têm sido utilizados no L.N.E.C.

Se mantivermos a junção  $S'$  ( $t'$ ) (fig. IX-8) designada "junção de referência" ou "soldadura fria" a uma temperatura constante,  $t' = 0$  por exemplo, poder-se-á conhecer a temperatura de outra junção chamada "junção de medida" ou "soldadura quente" medindo a d.d.p. que existe entre as duas soldaduras. Tabelas numéricas fornecem para cada par a relação que existe entre a f.e.m. desenvolvida nestas condições e a temperatura da soldadura quente. A montagem fundamental é indicada na fig. IX-8 em que a soldadura fria está efectivamente a  $0^{\circ}\text{C}$ . A f.e.m. medida pelo galvanómetro só depende do circuito em que é inserido, desde que os seus terminais (P) e (P') sejam isotérmicos. Industrialmente põe-se em evidência esta propriedade fazendo coincidir o troço (PP') do circuito com a soldadura fria. Tudo se passa como se o galvanómetro ou o potenciómetro fosse a soldadura fria, porque uma série de soldaduras isotérmicas comporta-se como uma soldadura directa dos metais extremos. Com efeito, consideremos o circuito da fig. IX-8. Isolemos mentalmente a cadeia dos metais (CDEFG) todos à mesma temperatura ( $t'$ ). Se se levar (S) à temperatura ( $t'$ ) o conjunto do circuito deve ter uma f.e.m. igual a 0; a f.e.m. da cadeia equilibra a da junção (S) a uma temperatura ( $t'$ ); a cadeia de metais (CDEFG) a ( $t'$ )  $^{\circ}\text{C}$  comporta-se como uma soldadura dos dois metais extremos (A) e (B) à temperatura ( $t'$ ).

São os terminais (P) e (P') do galvanómetro, cuja temperatura é a do ambiente, que constituem a soldadura fria de referência, soldadura que está, geralmente, entre  $10$  e  $50^{\circ}\text{C}$  (fig. IX-9).

Mais geralmente a ligação entre o par e o aparelho de medida é efectuada com um cabo de ligação bifilar (fig. IX-9). Os condutores (C) e (C') de



vem ter as mesmas propriedades termoelétricas que os fios do par que eles substituem numa zona de temperatura pouco elevada, o que se consegue utilizando fios do mesmo metal.

A escolha dos materiais empregados para a realização de pares deve obedecer às condições seguintes:

- possibilidade de comparação com um fio padrão do mesmo metal;
- homogeneidade dos fios;
- fidelidade;
- resistência às altas temperaturas;
- linearidade da f.e.m.  $E(t)$  com a temperatura;
- sensibilidade do par  $S = \frac{dE}{dt}$ .

Já se referiu atrás que a medição da f.e.m. pode ser feita por medição directa com um galvanómetro. Esta medição é, no entanto, afectada pela resistência dos condutores pois a diferença de potencial ( $V$ ) que o galvanómetro mede, estará relacionada com a f.e.m. ( $e$ ) que se pretende obter pela expressão:

$$V = e - ri$$

como se pode ver na fig. IX-10(a).

É preferível pois o método do potenciómetro. Trata-se de um método de zero que permite obter o valor de ( $e$ ) independentemente da resistência dos condutores de ligação. O esquema de funcionamento do potenciómetro está representado na fig. IX-10(b) e consta de um circuito (ABCDE), no qual existe uma pilha (P) de alimentação e de um circuito (JDFG), no qual existe um galvanómetro. Neste circuito pode ser sucessivamente inserida uma f.e.m. ( $e$ ) padrão (standard-cell) e a f.e.m. ( $e'$ ) que se pretende medir. Como elemento medidor existe um enrolamento de fio calibrado cuja resistência ( $r_1 + r_2$ ) é constante, podendo porém variar o valor de ( $r_1$ ) e de ( $r_2$ ) com a posição de (J). A medição consiste em fazer variar a posição de (J) de

forma que não passe corrente no circuito (JDFG), primeiro com a f.e.m. (e) ligada e depois com a f.e.m. (e'). Será:

$$e = r_2 i$$

$$e' = r_2' i$$

donde

$$e = e' \frac{r_2'}{r_2}$$

Como não passa corrente no circuito (CDFG) a resistência dos condutores de ligação não introduz qualquer erro na medição. O aparelho fornece directamente o valor de (e').

Nas barragens portuguesas têm-se utilizado pares termoeléctricos de cobre e constantan (figs. IX-11 e 12). Estes aparelhos são constituídos fundamentalmente por um cabo especial com dois condutores unifilares, um de cobre e o outro de constantan, com diâmetro de 0,8 mm, isolados a se da com uma mistura de borracha e neoprene reforçada com lona em várias camadas. Na extremidade soldam-se os dois condutores e a soldadura é protegida por uma manga metálica. A outra extremidade é ligada ao aparelho de leitura. Este aparelho desenvolve uma f.e.m. de 0,04 mV por cada grau centígrado de variação da temperatura.

O potenciómetro, mais correntemente usado entre nós, para a leitura dos pares termoeléctricos é o potenciómetro Leeds & Northrup Co. portátil de precisão nº. 8662 que se descreve em seguida.

#### 4 - POTENCIÓMETRO LEEDS & NORTHRUP Co. PORTÁTIL DE PRECISÃO Nº. 8662

##### 4.1 - Indicações gerais

As instruções a seguir dizem respeito somente aos potenciómetros nº. 8662 da série 371500 e seguintes. Para potenciómetros nº. 8662 doutras séries estas instruções não são válidas.

Este instrumento é enviado da fábrica com uma barra ligada entre os terminais (GA) que curto-circuita o galvanómetro. Durante as operações normais com o potenciómetro, esta barra deve ser retirada dos terminais (GA) ou, pelo menos, desligada dum terminal e afastada o suficiente para desfazer o curto-circuito do galvanómetro.

O potenciómetro nº. 8662 destina-se essencialmente a realizar medidas das f.e.m. em pares termoeléctricos, mas pode também ser usado para a verificação doutros tipos de potenciómetros, e inclui um sistema de compensação manual da f.e.m. de contacto que se desenvolve nos bornes de ligação do par termoeléctrico, f.e.m. que é, evidentemente, função da temperatura ambiente. No que se segue, designaremos esta operação por "compensação da f.e.m. de contacto".

O instrumento tem duas escalas, uma de 0 a 16 mV e outra de 0 a 80 mV. O mostrador do compensador da f.e.m. de contacto tem também duas escalas, uma de 0 a 1 mV e outra de 0 a 5 mV.

São fornecidas três pilhas secas instaladas num compartimento na extremidade direita da caixa do aparelho. Duas destas pilhas estão ligadas em série e alimentam a lâmpada do galvanómetro. A outra pilha constitui a f.e.m. de comparação do potenciómetro.

#### 4.2 - Ligações (fig. IX-13(a))

Ligar o par termoeléctrico, cuja f.e.m. se pretende medir, aos terminais designados por (E.M.F.) respeitando a polaridade indicada. A tabela a seguir dá a polaridade dos pares termoeléctricos habitualmente empregados. Se for necessário, usem-se os condutores de extensão indicados na tabela.

Para a medida de temperaturas negativas (inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  ou  $0^{\circ}\text{F}$ ) com um potenciómetro equipado com um compensador manual da f.e.m. de conta

tacto (como o potenciômetro nº. 8662), os cabos condutores do par termoelétrico do potenciômetro devem ser ligados aos terminais convenientes do potenciômetro com polaridade inversa da normal. Por outras palavras, deve ligar-se o terminal positivo do par ao terminal negativo e o terminal negativo ao terminal positivo. Para a realização da medida, ver o parágrafo 4.7 a).

Não são necessárias quaisquer outras ligações para trabalhar com o instrumento desde que se usem pilhas secas e o galvanômetro nele incorporados. É possível, contudo, usar pilhas secas (ou acumuladores) exteriores e um galvanômetro exterior.

Quadro das ligações			
Par termoelétrico		Condutores de extensão	
+	-	+	-
Ferro	Constantan	Ferro-branco	Constantan-vermelho
Cobre	Constantan	Cobre-branco	" "
Crómio	Alumel-levemente magnético	Crómio-amarelo Cobre-branco Ferro-amarelo	Alumel-vermelho Constantan-vermelho Cupronel-vermelho
Platina rodiada	Platina	Isolamento preto	Isolamento vermelho

Para usar pilhas exteriores, fazer as ligações indicadas no parágrafo 4.11.

Para usar um galvanômetro exterior, fazer as ligações indicadas no parágrafo 4.12.

As ligações internas estão indicadas esquematicamente na fig. IX-14(b)

#### 4.3 - Focalização do índice sobre a escala (fig. IX-13(b))

a) Desapertar os 4 parafusos da tampa do compartimento do galvanô

metro e retirar esta.

b) Se se usa a pilha interna para fornecer corrente à lâmpada do galvanômetro, acender a lâmpada curto-circuitando os terminais(1)e(2).Se a corrente é fornecida por uma fonte exterior, desligar os condutores exteriores dos bornes das(LAMP BA 3V)e ligá-los aos terminais(2)e(3).Voltar para o galvanômetro a abertura da protecção existente sobre a lâmpada.

c) Examinar a posição da lâmpada, lente e espelho do galvanômetro, verificando se estão todos no mesmo plano vertical que passa pelo centro do compartimento. Se não se verificar tal condição, desapertar o parafuso (B)e rodar o suporte da lâmpada e do índice até que a lâmpada e o espelho estejam alinhados. Apertar o parafuso(B)e desapertar o parafuso(C). Rodar então o suporte da lente até que fique no mesmo plano do espelho e da lâmpada. Apertar o parafuso (C).

d) Desapertar o parafuso(A).Abaixar ou levantar a lâmpada até que o feixe luminoso apareça no espelho do galvanômetro. Apertar o parafuso (A).

e) Desapertar o parafuso(B). Deslocar o suporte da lâmpada e do índice para a frente e para trás ou rodá-lo ligeiramente até que a imagem do filamento da lâmpada esteja focalizada no espelho do galvanômetro. Esta operação pode simplificar-se colocando um pouco de papel branco em frente do espelho e observando primeiramente a imagem do papel. Retirar então o papel e proceder ao ajustamento final. Apertar o parafuso(B).

f) Desaparafusar a fêmea (F). Ajustar a posição do galvanômetro até que a mancha luminosa do espelho do galvanômetro se situe aproximadamente no centro da escala(M)do espelho. Apertar a fêmea(F).

g) Recolocar a tampa do compartimento do galvanômetro e observar a imagem do índice (traço de referência) sobre a escala.

h) Se esta imagem não estiver bem nítida, retirar a tampa e desa-

pertar o parafuso (C). Mover o índice e as lentes (D) para a frente e para trás até que apareça na escala uma imagem bem nítida do índice (traço de referência). A cada tentativa recolocar provisoriamente a tampa. Apertar o parafuso (C).

i) Retirar as ligações temporárias dos terminais (1, 2 e 3). Recolocar a tampa do compartimento, tendo o cuidado de introduzir o perno ligado ao botão (A) (fig. IX-13(a)) na ranhura do dispositivo de ajustamento do zero do galvanômetro. Ligar novamente as pilhas secas ou bateria segundo o arranjo definitivo.

j) Se a imagem do traço de referência não estiver paralela às divisões da escala, retirar a tampa e fazer rodar o índice (D) até que aquela imagem fique paralela às referidas divisões.

#### 4.4 - Ajustamento do zero do galvanômetro (fig. IX-13(a))

Puxar o interruptor (B) da lâmpada do galvanômetro e rodar o botão (A) até que a imagem do índice (traço de referência) coincida com o zero da escala. Não carregar nos botões (LOW) ou (HIGH) ao fazer este ajustamento.

#### 4.5 - Ajustamento da corrente no circuito potenciométrico

Usando-se a pilha padrão incluída no aparelho, colocar o comutador de faca (F) na posição (INT.) e ajustar o botão (C) à voltagem desta pilha indicada no parágrafo 4.9. Usando-se uma pilha padrão exterior, pôr o comutador (F) na posição (EXT.), ligar a pilha padrão aos bornes marcados (S.C.), com a polaridade indicada, e acertar o botão (C) para a voltagem da pilha padrão utilizada.

Ao ajustar a corrente no circuito potenciométrico, as cavilhas (E) e (K) podem estar na posição (H) ou (L), porque a sua posição não afecta o ajustamento. Apertar as cavilhas firmemente com uma leve torcedura para asse

gurar um bom contacto. Passar o interruptor (T) para a posição (S.C.). Introduzir o manípulo no disco (M) e rodá-lo no sentido do movimento dos ponteiros dum relógio até onde for possível. Retirar este manípulo do disco (M) e introduzi-lo no disco (N). Rodar este disco no sentido do movimento dos ponteiros dum relógio até onde for possível. Carregar rapidamente no botão (LOW) e notar o sentido do desvio do galvanómetro. Rodar o disco (N) no sentido oposto ao do movimento dos ponteiros dum relógio até onde for possível. Carregar no botão (LOW). Se o desvio do galvanómetro tiver mudado de sentido, ajustar o disco (N), carregando no botão (HIGH) até não haver desvio do galvanómetro com o botão (HIGH) premido ou não. Se depois de ter rodado o disco (N) até ao limite do seu curso no sentido oposto ao dos ponteiros dum relógio e carregando no botão (LOW) o desvio do galvanómetro tiver a direcção anterior, retirar o manípulo do disco (N) e inseri-lo no disco (M). Rodar o disco (M) no sentido oposto ao do movimento dos ponteiros dum relógio, premindo o botão (LOW), até haver somente um ligeiro desvio do galvanómetro no sentido oposto ao verificado primeiramente. Retirar o manípulo do disco (M) tendo o cuidado de não alterar a posição deste disco. Colocar o manípulo do disco (N) e ajustar este disco, carregando no botão (HIGH), até não haver desvio do galvanómetro com o botão (HIGH) premido ou não. Não alterar a posição dos discos (M) e (N) até que seja necessário ajustar de novo a corrente do potenciómetro.

A mudança das cavilhas (E) ou (K) da posição (H) para (L), ou vice-versa, não altera a corrente no circuito potenciométrico.

Quando os discos (M) e (N) tiverem atingido o limite do seu curso na direcção dos ponteiros dum relógio sem que o galvanómetro possa ser equilibrado, a pilha seca ou a bateria devem ser substituídas.

Quando se utiliza uma pilha seca ou uma bateria novas, a corrente do potenciómetro deve ser ajustada com frequência durante o primeiro dia de

trabalho devido às variações da f.e.m. durante as primeiras horas de serviço.

#### 4.6 - compensação da f.e.m. de contacto

Ler a temperatura ambiente num termómetro de mercúrio com um limite de erro de  $1/4^{\circ}\text{F}$  e procurar nas tabelas a f.e.m. correspondente.

Se a f.e.m. de contacto for inferior a 1 mV, colocar as cavilhas (K) na posição (L) e colocar sob o índice da escala numerada a preto, correspondente ao botão de comando (J), o valor desta f.e.m.. Se esta f.e.m. estiver compreendida entre 1 e 5 mV, colocar as cavilhas (K) na posição (H) e colocar sob o índice da escala numerada a vermelho, correspondente ao mesmo botão (J) o valor da f.e.m.. A mudança das cavilhas (K), de (H) para (L), não altera a corrente do potenciómetro; não é, portanto, necessário qualquer novo ajustamento de corrente.

Quando se utilizam dois ou mais pares termoeléctricos ligados em série, a compensação da f.e.m. de contacto faz-se como se segue: Determinar a temperatura ambiente com um termómetro de mercúrio como se indica acima e, com a tabela de conversão adequada, determinar a f.e.m. correspondente a esta temperatura da forma usual. Multiplicar, então, este valor pelo número de pares termoeléctricos ligados em série e proceder como anteriormente, utilizando, porém, este valor do produto, em vez da simples f.e.m..

A fig. IX-14(a) mostra um caso em que se utilizou um par termoeléctrico ferro-constantan e o termómetro de mercúrio indicava a temperatura ambiente de  $80^{\circ}\text{F}$ . As tabelas de conversão para este tipo de pares dão uma f.e.m. de 2,30 mV a  $80^{\circ}\text{F}$ . Portanto, devem-se introduzir as cavilhas (K) na posição (H) e ajustar o botão (J) para se ler 2,30 na escala numerada a vermelho, sob o índice. Esta operação constitui a compensação da f.e.m. de contacto. As leituras da f.e.m. obtidas como se indica no parágrafo 4.8



são baseadas nas tabelas de conversão para os pares de ferro-constantan e para a temperatura de referência de  $0^{\circ}\text{F}$ , não sendo necessária qualquer outra correcção.

#### 4.7 - Medida da f.e.m.

Se o valor estimado da f.e.m. a medir exceder 16 mV, ou se o mesmo não puder ser estimado, proceder como o indicado na alínea a); em caso contrário proceder conforme o indicado na alínea b).

a) Escala superior (fig. IX-13 (a)) - Fazer a compensação da f.e.m. de contacto como se indica no parágrafo 4.6 e, com o comutador (T) na posição (S.C.), verificar o equilíbrio do potenciómetro, carregando no botão (HIGH). Se o galvanómetro se desvia, a corrente do potenciómetro deve ser ajustada como se indica no parágrafo 4.5. Se não acusar qualquer desvio, a corrente do potenciómetro está convenientemente ajustada. Asssegurado o equilíbrio, mudar o comutador (T) para a posição (E.M.F.). Inserir as cavilhas (E) na posição (H) e fixar os botões (G) e (P) na posição zero. Premir o botão (LOW) e notar a direcção do desvio do galvanómetro. Rodar lentamente o botão de comando (P), carregando intermitentemente no botão (LOW) e caso não se verifique o equilíbrio do galvanómetro, rodar o botão (G) até que o desvio do galvanómetro mude de sentido. Rodar então lentamente o botão de comando (P) no sentido do zero, premindo o botão (LOW) intermitentemente até que o galvanómetro não se desvie. Carregar no botão (HIGH), deslocando o botão (P), até que não se note qualquer desvio do galvanómetro, com o botão (HIGH) premido ou não, ler a f.e.m. na escala (H) (vermelho) como se indica na alínea a) do parágrafo 4.8.

Se a medida na escala superior conduzir a um valor da f.e.m. inferior a 16 mV, pode obter-se maior precisão, repetindo a medida com as cavilhas (E) na posição (L).

A mudança de posição das cavilhas (E) não altera a corrente do potenciómetro, pelo que se torna desnecessário qualquer novo ajustamento.

Se não se puder obter o equilíbrio com as cavilhas (E) na posição (H) é porque a f.e.m. excede 80 mV e não pode ser medida com este aparelho.

b) Escala inferior (fig. IX-3(a)) - Se o valor previsto para a f.e.m. a medir for inferior a 16 mV, colocar as cavilhas (E) na posição (L) e proceder como anteriormente, utilizando porém a escala (L) (preto), conforme se indica na alínea b) do parágrafo 4.8.

Para a medição, com este tipo de potenciômetro, de temperaturas inferiores à temperatura ambiente, proceda-se como segue:

a) Determinar a temperatura ambiente com um termómetro de mercúrio como se indica no parágrafo 4.6, efectuando esta determinação o mais próximo possível do ponto onde os condutores provenientes do par termoeléctrico se ligam ao circuito do aparelho, geralmente nos bornes marcados com (E.M.F.).

Procurar a milivoltagem correspondente à temperatura encontrada numa tabela de conversão própria para o tipo de par termoeléctrico utilizado, (Ver tabela no fim do capítulo).

b) Ligar os condutores do par termoeléctrico aos terminais convenientes, mas com polaridade invertida. Por outras palavras, ligar o condutor positivo ao terminal negativo e o condutor negativo ao terminal positivo.

Ajustar o compensador da f.e.m. de contacto para 0 mV. Medir a milivoltagem da forma habitual e somar algèbricamente ao valor obtido a milivoltagem de contacto determinada em a).

c) Numa tabela de conversão que inclua valores da temperatura inferiores a zero, própria para o par termoeléctrico utilizado e com a mesma temperatura de referência ( $^{\circ}\text{F}$  ou  $^{\circ}\text{C}$ ) que se adoptou em a) procurar a temperatura correspondente à milivoltagem determinada em b). Esta será a temperatura do par termoeléctrico.

N.B. - Não usar os valores simétricos dos fornecidos pelas tabelas de temperaturas acima de zero, pois os valores absolutos da milivoltagem não são geralmente os mesmos para as temperaturas abaixo de zero.

É possível obter-se um instrumento especial, calibrado em graus, para a determinação de temperaturas negativas. Para esse aparelho já não são válidas as condições mencionadas na presente nota, pois então é possível conseguir o equilíbrio dentro do campo de temperaturas previsto.

#### 4.8 - Leituras

a) Escala superior - (fig. IX-13(a)) - Com as cavilhas (E) na posição (H) o valor da f.e.m. a medir é igual à soma do número a vermelho do botão (G) oposto ao índice, com a leitura na escala numerada a vermelho do botão de comando (P); por exemplo, com o botão (G) na divisão 60 e a leitura 5 na escala de (P), a f.e.m. determinada é de  $60 + 5 = 65$  mV.

b) Escala inferior - (fig. IX-13(a)) - Com as cavilhas (E) na posição (L) o valor da f.e.m. a medir é a soma do número a branco do botão (G) oposto ao índice, com a leitura na escala numerada a preto do botão de comando (P); por exemplo, com o botão (G) na divisão 6 e a escala de (P) na divisão 5, a indicação do aparelho é  $6 + 5 = 6,5$  mV.

#### 4.9 - Dados sobre a pilha padrão

A f.e.m. da pilha padrão pode ser dada em unidades internacionais (U.S.) ou absolutas. Se o certificado ou a chapa, fornecidos com a pilha, não indicarem o sistema de unidades utilizado, deve considerar-se a f.e.m. da pilha expressa em volts internacionais. As indicações do instrumento serão expressas no sistema de unidades utilizado para a f.e.m. da pilha, para o qual se ajusta o botão (C). Desejando-se as leituras no outro sistema de unidades, recorra-se ao factor de conversão abaixo indicado.

Para converter volts internacionais em volts absolutos, multiplicar o número que exprime a grandeza em volts internacionais por 1,000330.

Para converter volts absolutos em volts internacionais, multiplicar o número que exprime a grandeza em volts absolutos por 0,99967.

F.e.m. da pilha padrão ..... 1,01935 volts absolutos  
 Data da medida ..... 12.10.53  
 Potenciómetro da série número ..... 1100464

Aviso - A pilha padrão deste instrumento nunca deve ser utilizada a temperaturas abaixo de 32°F (0°C) nem acima de 140°F (60°C). Se for necessário usar o instrumento com temperaturas fora destes limites, retirar a pilha padrão, colocá-la num ambiente onde a temperatura esteja dentro dos limites referidos e ligá-la temporariamente aos terminais (S.C.), com a polaridade indicada, pondo o interruptor (F) na posição (EXT.).

#### 4.10 - Verificação de pilhas padrão

Para a verificação doutras pilhas padrão, empregar a pilha padrão contida no instrumento como termo de comparação.

Equilibrar o potenciómetro como o indicado no parágrafo 4.5 e colocar o interruptor (T) na posição (S.C.). Para esta verificação é indiferente a posição das cavilhas (E) e (K), do botão (G) e dos botões (P) e (J). Ligar a pilha padrão a verificar aos bornes (S.C.) com a polaridade indicada. Passar o comutador (F) para a posição (EXT.) e equilibrar o galvanómetro, actuando sobre o botão (C). A leitura do mostrador deste botão dá a f.e.m. da pilha padrão exterior.

#### 4.11 - Pilhas secas

Para substituir a pilha seca do circuito potenciométrico, retirar os dois parafusos da porta existente na face lateral direita do aparelho. Abrir a porta, desligar a pilha usada e retirá-la. Colocar a pilha nova e ligá-la com a polaridade indicada. Fechar a porta e segurá-la com os dois parafusos.

Para substituir as pilhas secas do circuito da lâmpada, retirar os dois parafusos, abrir a porta, desligar as pilhas usadas (duas pilhas em série) e tirá-las do instrumento. Ligar duas pilhas em série e pô-las no lugar donde se tiraram as pilhas usadas. Ligar os dois terminais às pilhas, não interessando a polaridade das ligações. Fechar a porta e apertá-la com os dois parafusos.

Para alimentar a lâmpada do galvanômetro pode também usar-se uma fonte de (C.A.) de 3 V ou um acumulador de 3 V. Para isso desligar as pilhas secas situadas no compartimento da extremidade direita do instrumento, isolar os terminais dos condutores para evitar curto-circuito e ligar a fonte externa aos terminais (LAMP. BA. 3V). Não interessa a polaridade das ligações.

Pode usar-se uma bateria exterior de 1,5 V para fornecer a corrente do potenciômetro. Para isso, desligar a pilha seca do compartimento da extremidade direita do aparelho, isolar os terminais dos condutores para evitar curto-circuito e ligar a bateria exterior aos terminais (BA), com a polaridade neles indicada.

Para serviço contínuo, várias pilhas secas nº. 6 ligadas em paralelo conservar-se-ão por mais tempo.

#### 4.12 - Galvanômetro

Pode usar-se um galvanômetro exterior em vez do do instrumento. Retirar a tampa do compartimento do galvanômetro, desligar os condutores flexíveis do sistema do galvanômetro e repôr a tampa. Ligar o galvanômetro exterior aos terminais (GA).

O galvanômetro do instrumento pode usar-se separadamente sem alterar as ligações internas. As ligações fazem-se aos terminais (GA). Neste

caso, não carregar nos botões (LOW) ou (HIGH).

Para retirar o galvanómetro, tirar a tampa do respectivo compartimento, como já se indicou, e desapertar a fêmea (F). Desligar os condutores e retirar o galvanómetro.

A montagem esquemática que se usa habitualmente para fazer leituras com este aparelho é a indicada na fig. IX-15.

A determinação de temperatura do par medidor pode ser feita de duas maneiras: ou se introduz o valor da temperatura do par de referência em milivolts no potenciómetro, no quadrante (J), e nesse caso o valor que nos aparece no quadrante (P), depois de reduzido a graus centígrados dá-nos a temperatura no ponto desejado; ou tal operação não se faz e então o valor que nos aparece no quadrante (P), depois de reduzido a graus centígrados terá que ser somado à temperatura do par de referência (termómetro de mercúrio da garrafa termos) para se obter a temperatura do par medidor.

É claro que esta montagem pressupõe que a temperatura do par medidor seja superior à do par de referência. Em princípio assim sucede, visto que o par de referência é normalmente introduzido em gelo fundente. Quando se torna porém difícil ou pouco prático transportar grandes quantidades de gelo para todos os locais em que há leituras a fazer com os pares termoeléctricos, o que se faz normalmente é encher a garrafa termos com água e nela introduzir o par de referência.

Se por acaso a temperatura do par medidor for inferior à do par de referência o que acontece é que a bolha do galvanómetro não pára no zero; neste caso inverte-se a polaridade das ligações dos fios de cobre aos botões (E.M.F.) e no fim subtrai-se em vez de somar, à temperatura do par de referência os graus centígrados, correspondentes aos milivolts obtidos no quadrante ( $Q_1$ ).

## 5 - POTENCIÓMETRO PORTÁTIL W.G. PYE Nº. 7556

5.1 - Descrição

Este aparelho (fig. IX-16) compreende um milivoltímetro, uma ponte de Wheatstone, uma fonte de potencial e um galvanómetro, contidos numa caixa compacta de madeira. As baterias são colocadas em compartimentos acessíveis por portinholas de madeira, nos lados da referida caixa. Uma pilha padrão é incorporada no circuito potenciométrico padrão, e existe embutido um termómetro, perto dos terminais de ligação do par.

A distribuição dos botões e quadrantes pelo painel é concebida de modo a obter-se a maior facilidade e rapidez de manejo e utilização. Os terminais e os botões estão distribuídos de tal maneira que uma vez as ligações feitas, os ensaios serão levados a cabo sem a necessidade de mudar ou substituir ligações ou terminais.

Como medida de segurança, o fecho da tampa actua automaticamente sobre um botão que desliga as baterias e curta-circuita o galvanómetro.

Nunca se deve carregar nos botões (TEST.) ou (STANDARDIZE) quando a bateria estiver desligada, pois doutra maneira resultarão avarias na pilha padrão e no galvanómetro.

5.2 - Medição da força electromotriz

a) Colocar o ponteiro do galvanómetro no zero, actuando no controle (SET ZERO).

b) Ligar a fonte da f.e.m. a ser medida (par medidor) aos terminais (THERMOCOUPLE), observando a polaridade correcta, se for conhecida, e colocar o botão (THERMOCOUPLE) na posição (NORMAL).

c) Rodar o (SELECTOR) para a posição (POTENCIOMETER).

d) Se o valor da f.e.m. for aproximadamente conhecido, colocar o

botão (RANGE) na posição apropriada.

e) Actuar no comutador (STANDARDIZE) repetidamente e ajustar os controles (COARSE) primeiro, e (FINE) depois, até que o ponteiro do galvanómetro indique zero.

f) Actuar no comutador (TEST) repetidamente e ajustar os botões (MILLIVOLT) e (POTENTIOMETER) até que o galvanómetro não apresente deflecção.

Se não for obtido o equilíbrio em nenhuma das posições (x1) ou (x5) do botão (RANGE) rodar o botão (THERMOCOUPLE) para a posição (REVERSE) e repetir as operações.

g) O valor da f.e.m. é dado pela leitura directa das escalas multiplicada pelo factor (RANGE). A temperatura será dada pela soma da temperatura lida no termómetro (B) com a temperatura correspondente à f.e.m. lida, obtida por tabelas.

h) Numa série de leituras proceder, de vez em quando, a uma aferição como a indicada em e).

i) Colocar o botão (SELECTOR) na posição (OFF) no fim das leituras.

### 5.3 - Verificação do aparelho por comparação com um par termoeléctrico padrão

a) Colocar um par padrão numa estufa ao lado do par do equipamento com a mesma profundidade de imersão e ligá-lo aos terminais (THERMOCOUPLE) por meio de fios de ligação.

b) Medir a f.e.m. do par padrão, e tomar nota da leitura.

c) Usando a tabela de conversão do par padrão e a leitura obtida no número anterior, determinar a temperatura da estufa, compensando ao mesmo tempo a f.e.m. correspondente à temperatura da junção fria, que é lida no termómetro de vidro montado perto dos terminais (THERMOCOUPLE).

d) Se houver alguma diferença entre os dois valores assim determinados, o aparelho deve ser aferido em oficina de confiança.



#### 5.4 - Características do aparelho

Na fig. IX-17 estão indicadas as ligações interiores correspondentes às posições do comutador (SELECTOR).

##### - Potenciômetro

Na posição (RANGE) ( $\times 1$ )

Botão principal - 19 divisões de 1 mV

Botão secundário - continuamente variável numa escala de 1 mV em 10 divisões principais, cada uma subdividida em 10 partes. Cada divisão pequena igual a 10 V.

Na posição (RANGE) ( $\times 5$ )

Botão principal - 19 divisões de 5 mV

Botão secundário - cada divisão pequena igual a 50 V

Resistência interna -  $50 \Omega / V$

Reóstato - botões (COARSE e FINE)

Pilha padrão - tipo miniatura para circuito de aferição

Precisão -  $\pm 1\%$  ou  $\pm 0,5\%$  de cada divisão do botão secundário

Pilha - 1,5 V tipo Siemens tamanho R, contida no compartimento do lado esquerdo da caixa.

##### - Ponte

Resistência dos braços -  $200 \Omega$  cada

Resistência variável -  $4 \times 10 \Omega$ ,  $10 \times 1 \Omega$  e  $10 \times 0,1 \Omega$

Precisão -  $\pm 0,01 \Omega$  em qualquer posição

Pilha - igual à do potenciômetro.

##### - Fonte de potencial (POTENTIAL SOURCE)

Escala - 20 mV e 100 mV

Botões - (COARSE) - 20 divisões iguais

(FINE) - variações contínuas, subdividindo cada divisão

Resistência interna -  $50 \Omega / V$

Pilha - 1,5 V, tipo Siemens, tamanho R, contida no compartimento do lado direito.

Galvanómetro - tipo Pye 7907 de suspensão e agulha  
Resistência do fio de prumo de superfície - 20  $\Omega$   
Período - 2 segundos  
Resistência crítica - 130  $\Omega$   
Sensibilidade - 1 mm/ A

## 6 - MONTAGENS ESPECIAIS PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS

### 6.1 - Medições à superfície

Estas medições têm interesse especial para a interpretação dos fenômenos térmicos de superfície, das medições extensométricas e dos valores das tensões à superfície.

As medições de temperaturas à superfície têm dificuldades evidentes, sendo a principal a que resulta da própria definição de superfície. A superfície não tem espessura. Qualquer aparelho que se pretenda colocar no betão para medir a temperatura à superfície tem espessura e, portanto, medirá a temperatura média de uma certa espessura de betão. Claro que o facto não tem importância se essa espessura for pequena e é o que, na realidade se passa. Quando se pretende medir a temperatura da superfície, surge logo a ideia de colocar um elemento medidor (termómetro de resistência ou par termoeléctrico) à superfície, com as suas dimensões reduzidas ao mínimo para que a medição seja pontual. Mas para que a medição seja fiel, é necessário que haja uma porção sensível de cabo que fique situado à superfície pois, de outro modo, as temperaturas do cabo irão influenciar a temperatura do elemento medidor. O L.N.E.C. desenvolveu um par termoeléctrico apto para o fim em vista, com forma espiral, que tem sido colocado em algumas barragens com bons resultados (fig. IX-12).

### 6.2 - Medições junto dos paramentos, no ar e na água

As medições no ar junto do paramento de jusante são efectuadas normalmente com um par termoeléctrico ou um termómetro de resistência vulgar

com a montagem especial que se indica na fig. IX-12 a fim de os subtrair aos efeitos da radiação solar. Com efeito, estas medições deverão ser feitas na superfície, ou seja, no próprio paramento. O aparelho é protegido por uma caixa pintada de branco brilhante, furada, para se obter um arejamento eficaz.

As medições na água, junto do paramento de montante, são feitas igualmente com um medidor vulgar (par ou termómetro) mas instalado como se indica na fig. IX-12.

### 6.3 - Medições na água da albufeira

O L.N.E.C. utiliza nestas medições um aparelho inicialmente fabricado pela firma Huggenberger e actualmente fabricado em Portugal.

O aparelho (fig. IX-18) consta essencialmente de um termómetro de resistência (5) ligado por um cabo especial (6) e por intermédio de um contacto de lâminas (11) a um voltímetro (15) graduado em graus centígrados em duas escalas  $0^{\circ}\text{C}-15^{\circ}\text{C}$  e  $15^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$ . Em (10) está instalado o comutador das duas escalas referidas, em (12) um réostato de regulação que, em função da temperatura inicial do termómetro de resistência e para o intervalo da leitura escolhido, que por sua vez é função da temperatura que se prevê ir ser medida, permite ao galvanómetro indicar a temperatura medida. Em (13) está instalado um comutador que numa posição liga o circuito que permite fazer a ligação com o réostato já referido e na outra posição liga o circuito de medida. Em (14) está instalado o comutador principal.

O cabo de ligação está enrolado num tambor (7), munido de um travão (8), sendo possível dar-lhe movimento de rotação por intermédio de uma manivela (9) que se coloca exteriormente no momento da leitura.

Um contador de voltas (4), ligado a uma roldana, permite medir a profundidade atingida pelo termómetro. Tanto o indicador de profundidade co

mo a roldana estão fixados no suporte (17). Uma outra roldana (16), que se pode fixar com um grampo na borda de um barco ou na guarda do coroa-mento da barragem, permite a passagem do cabo do barco ou de terra para dentro de água. Todo o conjunto está medido numa caixa (1 e 2) com as di-mensões de 36 x 53 x 38 cm e com o peso de 22 kg. A caixa tem no fundo furos que se destinam a permitir a sua fixação ao barco ou a terra.

Quanto ao esquema eléctrico o aparelho é uma simples ponte de Wheatstone equipada com uma resistência variável e várias resistências fixas em que o seu desequilíbrio dá origem à passagem de uma corrente no galvanómetro e por consequência à indicação da temperatura por este.

Na fig. IX-19 apresenta-se o esquema eléctrico do aparelho.

No momento de fazer as medições, o aparelho pode ser instalado num barco ou no coroaamento da barragem.

a) No barco - a caixa do aparelho deve ser fixada mais ou menos a meio do barco numa tábua situada à altura da borda do barco, por inter-médio de porcas de orelha e parafusos que entram nos furos do fundo da caixa. A roldana (16) e respectivo suporte serão então fixados na borda do barco permitindo a passagem do termómetro e respectivo cabo para dentro de água. Na fig. IX-20(a) está indicada em esquema a montagem.

b) No coroaamento da barragem - a caixa é fixada por maneira idênti-ca à indicada na alínea anterior num suporte de madeira à altura da guar-da do coroaamento. A roldana 16 será fixada na guarda para o que, em re-gra, será necessário efectuar a fixação de um fixe no betão da guarda onde por sua vez a roldana (16) e seu suporte se possam fixar. Na fig. IX-20(b) está indicada em esquema a montagem.

O aparelho possui dois intervalos de medição, um de 0<sup>o</sup> a 15<sup>o</sup>C, e ou-tro de 15<sup>o</sup> a 30 C.

Cada divisão da escala equivale a 0,2<sup>o</sup>C.

A tensão de 13,5 V, necessária ao funcionamento do aparelho, é produzida por uma bateria de pilhas secas ligadas em série.

As diferentes operações para efectuar uma medição esquematizam - se em seguida.

a) Pôr o interruptor principal (LIG.-DESLIG.) na posição (LIG.).  
b) Pôr o coomutador dos intervalos de medição no intervalo que se pretende ( $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$  ou  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ).

c) Pôr o comutador (M-R) na posição (R) (regulação).

d) Premir durante pouco tempo o botão vermelho.

Rodando o botão do potenciómetro, levar o ponteiro até ao fim da escala (15 ou 30), regulando. O instrumento encontra-se pronto para a medição.

e) Pôr agora o comutador (M-R) na posição (M) (medição), premir o botão vermelho e fazer a leitura. Se o ponteiro sair dos limites da escala, isso significa que o intervalo de medição ligado não é correcto, havendo que regular de novo, procedendo como se indica a partir da alínea d).

f) Terminada a medição, pôr o interruptor principal em (AUS.).

g) Para poupar a bateria, o botão vermelho só deve premir-se durante pouco tempo de cada vez.

h) Em caso de grande número de medições há que verificar frequentemente a tensão de funcionamento, para fazer a correcção da queda de tensão da bateria.

i) As pilhas devem substituir-se quando, com o comutador na posição (R), o ponteiro não consegue já atingir o fim da escala.

j) Ao colocar as pilhas deve reparar-se na designação dos polos, tanto nas pilhas como na caixa da bateria. Os polos das pilhas (os mais compridos) devem dobrar-se ao meio.

O aparelho deve proteger-se contra choques e trepidações.

TABELA DE CONVERSÃO

DE

MILI VOLTS EM GRAUS CENTÍGRADOS

M.V.	°C	M.V.	°C	M.V.	°C	M.V.	°C
0,19	5,0	0,64	16,3	1,09	27,8	1,54	39,3
0,20	5,3	0,65	16,5	1,10	28,0	1,55	39,5
0,21	5,5	0,66	16,8	1,11	28,3	1,56	39,8
0,22	5,8	0,67	17,0	1,12	28,5	1,57	40,0
0,23	6,0	0,68	17,3	1,13	28,8	1,58	40,3
0,24	6,3	0,69	17,5	1,14	29,0	1,59	40,5
0,25	6,5	0,70	17,8	1,15	29,3	1,60	40,8
0,26	6,8	0,71	18,0	1,16	29,5	1,61	41,0
0,27	7,0	0,72	18,5	1,17	29,8	1,62	41,3
0,28	7,3	0,73	18,8	1,18	30,0	1,63	41,5
0,29	7,5	0,74	19,0	1,19	30,3	1,64	41,8
0,30	7,8	0,75	19,3	1,20	30,5	1,65	42,0
0,31	8,0	0,76	19,5	1,21	30,8	1,66	42,3
0,32	8,3	0,77	19,8	1,22	31,0	1,67	42,5
0,33	8,5	0,78	20,0	1,23	31,3	1,68	42,8
0,34	8,8	0,79	20,3	1,24	31,5	1,69	43,0
0,35	9,0	0,80	20,5	1,25	31,8	1,70	43,3
0,36	9,3	0,81	20,8	1,26	32,0	1,71	43,5
0,37	9,5	0,82	21,0	1,27	32,3	1,72	43,8
0,38	9,8	0,83	21,3	1,28	32,5	1,73	44,0
0,39	10,0	0,84	21,5	1,29	32,8	1,74	44,3
0,40	10,3	0,85	21,8	1,30	33,3	1,75	44,5
0,41	10,5	0,86	22,0	1,31	33,5	1,76	44,8
0,42	10,8	0,87	22,3	1,32	33,8	1,77	45,0
0,43	11,0	0,88	22,5	1,33	34,0	1,78	45,3
0,44	11,3	0,89	22,8	1,34	34,3	1,79	45,5
0,45	11,5	0,90	23,0	1,35	34,5	1,80	45,8
0,46	11,8	0,91	23,3	1,36	34,8	1,81	46,0
0,47	12,0	0,92	23,5	1,37	35,0	1,82	46,3
0,48	12,3	0,93	23,8	1,38	35,3	1,83	46,5
0,49	12,5	0,94	24,0	1,39	35,5	1,84	46,8
0,50	12,8	0,95	24,3	1,40	35,8	1,85	47,0
0,51	13,0	0,96	24,5	1,41	36,0	1,86	47,3
0,52	13,3	0,97	24,8	1,42	36,3	1,87	47,5
0,53	13,5	0,98	25,0	1,43	36,5	1,88	47,8
0,54	13,8	0,99	25,3	1,44	36,8	1,89	48,0
0,55	14,0	1,00	25,5	1,45	37,0	1,90	48,3
0,56	14,3	1,01	25,8	1,46	37,3	1,91	48,5
0,57	14,5	1,02	26,0	1,47	37,5	1,92	48,8
0,58	14,8	1,03	26,3	1,48	37,8	1,93	49,0
0,59	15,0	1,04	26,5	1,49	38,0	1,94	49,3
0,60	15,3	1,05	26,8	1,50	38,3	1,95	49,5
0,61	15,5	1,06	27,0	1,51	38,5	1,96	49,8
0,62	15,8	1,07	27,3	1,52	38,8	1,97	50,0
0,63	16,0	1,08	27,5	1,53	39,0	1,98	50,3

MILIVOLTS = M.V.

## CAP. X - MEDIÇÃO DE EXTENSÕES

### 1 - GENERALIDADES

O problema do cálculo de estruturas é, fundamentalmente, um problema de análise de tensões instaladas. De igual modo, o projecto de barragens fundamenta-se no conhecimento do estado de tensão. Como o projectista necessita duma comprovação do seu projecto, isto é, tem necessidade de fundamentar o grau de validade das hipóteses formuladas, o conhecimento das tensões realmente instaladas na barragem constitui um dos seus objectivos fundamentais.

A frase de Lord Kelvin - não se conhece verdadeiramente uma coisa que se não pode medir - indica o verdadeiro caminho para o progresso da investigação na Engenharia Civil, pela determinação ou medição directa, tão exacta quanto possível, das tensões de uma estrutura sob a acção de diferentes solicitações.

Um dos processos mais divulgados para resolver o problema, é o de medir as deformações e proceder posteriormente à determinação das tensões. Com efeito, embora existam, presentemente, aparelhos que permitem determinar directamente tensões normais de compressão, não é todavia possível medir o valor de todas as componentes de um dado estado de tensão num ponto. Assim, o método que se afigura mais razoável para a determinação do estado de tensão, ainda que indirectamente, é o da determinação do estado de extensão num ponto, em várias direcções.

Entende-se por extensómetro, um aparelho destinado a medir a variação de distância entre dois pontos dum corpo, quando sujeito a uma deformação.

Como a grandeza a medir é quase sempre muito pequena, houve necessidade inicialmente de ampliar, aparecendo assim os primeiros extensómetros mecânicos.

O primeiro extensómetro deve atribuir-se a Dupuy e foi apresentado em 1873 numa exposição em Viena. A sua constituição, é interessante no - tar, não difere muito dos aparelhos mecânicos que hoje consideramos perfeitos, apesar do grande progresso realizado na construção de extensómetros. A base de medida passou de lm para lcm e a ampliação de 20 para 2000, o que é notável.

Há que definir algumas grandezas características dos extensómetros que de certa maneira qualificam os resultados que o aparelho fornece. Assim:

A sensibilidade dum extensómetro é a menor variação de comprimento ou extensão que o aparelho é capaz de medir.

A fidelidade é o erro de que vem afectada a média das leituras de sucessivas aplicações do aparelho a uma mesma grandeza a medir.

A precisão é definida pelo erro de que vem afectado o próprio valor da grandeza medida pelo aparelho.

Constante do extensómetro é a variação de comprimento correspondente à menor divisão da escala do aparelho de leitura.

Campo de medida é a máxima variação de comprimento que o aparelho é capaz de medir.

Inicialmente, o processo mais simples e económico para a medição de extensões em barragens, consistia em instalar nos paramentos bases, onde se faziam leituras como alongâmetro. As bases eram colocadas nos vértices dum octogono onde se faziam as medições em quatro direcções.

Este processo não deu resultados razoáveis, tendo sido abandonado, pois os diagramas obtidos eram nitidamente influenciados pelas variações de temperatura do ar que se verificavam nos mesmos paramentos e não mostravam qualquer efeito da pressão hidrostática.

Fundamentalmente têm sido usados no L.N.E.C., na observação de barragens, dois tipos de extensómetros, correspondendo esta subdivisão aos dois



princípios fundamentais de medida:

- um baseado em fenómenos acústicos;
- o outro baseado em fenómenos eléctricos.

Os extensómetros construídos com base na aplicação do primeiro tipo de fenómenos são os extensómetros de corda vibrante; os extensómetros usados na aplicação do segundo tipo enunciado serão os extensómetros eléctricos.

Veremos em seguida, e para cada tipo de extensómetros, o princípio de funcionamento, esquemas habitualmente utilizados, tipos de extensómetros normalmente utilizados e, finalmente, princípio e caixas de medida.

## 2 - EXTENSÓMETROS DE CORDA VIBRANTE

Os extensómetros de corda vibrante são fundamentalmente constituídos por uma corda vibrante de aço de 0,3mm de diâmetro, sólidamente amarrada nas duas extremidades (ou cabeças) do extensómetro. A corda é excitada por um electro-iman que tem também a função de captar a vibração da corda. Assim, qualquer deformação no betão circundante do aparelho irá fazer variar a tensão a que a corda está submetida e, conseqüentemente, a sua frequência própria de vibração.

O princípio de medida terá então que se basear na determinação, em cada época, da frequência de vibração da corda. Para isso existe o electro-iman colocado sensivelmente a meio da corda, o qual com uma descarga dum condensador a atrai fortemente, fazendo-a entrar em vibração. A frequência desta vibração é captada pelo electro-iman e a sua medição feita em aparelhos especiais que adiante serão descritos em pormenor.

A vibração de cordas vibrantes é como se sabe regida pela seguinte lei:

$$f = \frac{1}{2c} \sqrt{\frac{\sigma g}{\gamma}}$$

em que:

- f - frequência de vibração da corda
- $\sigma$  - tensão a que está sujeita a corda
- $\gamma$  - massa específica do material da corda
- c - comprimento da corda
- g - aceleração da gravidade

Por esta expressão se vê que a frequência de vibração duma corda é proporcional à raiz quadrada da tensão a que ela está submetida.

A partir da expressão apresentada e desde que se conheçam o comprimento da corda que entre em vibração e a sua massa específica, e se meça a sua frequência de vibração, podemos conhecer qual a tensão a que a corda está submetida. Conhecida a tensão, e desde que conheçamos o módulo de elasticidade do material da corda, por aplicação da lei de Hooke, temos o valor da deformação que a corda sofreu, e, por conseguinte, a do betão envolvente do aparelho e que se supõe ser a mesma.

Embora teoricamente as cordas possam ter um comprimento qualquer, por experiências efectuadas, chegou-se à conclusão que não convém que tenham um comprimento inferior a 10 cm.

São extensómetros deste tipo os Télémac (fig. X-1); Galileo (fig. X-2); e L.N.E.C. C.10 (fig. X-3), C.30 (fig. X-4 e 5) e dupla corda (fig. X-6). Julgamos estas figuras suficientemente elucidativas para compreensão do funcionamento destes tipos de medidores; apenas nos deteremos numa breve explicação sobre o extensómetro de dupla corda vibrante. Como vemos, ele é constituído fundamentalmente por duas cordas de cerca de 30 cm de comprimento, ligadas cada uma às cabeças do extensómetro e a um colar metálico central, mantendo-se, contudo, independentes entre si.

Pela construção do aparelho se vê, que havendo uma deformação exterior há variação na distância das cabeças do extensómetro, e então uma corda tendida e a outra comprimida do mesmo valor. Assim, se as cordas tiverem vi

gorosamente o mesmo comprimento inicial, elas sofrerão extensões iguais, mas de sinais contrários, para uma base de medida dupla do seu comprimento.

Daqui resultam as seguintes vantagens:

- um aumento de sensibilidade, pois as extensões vêm multiplicadas por dois,
- existem praticamente dois extensómetros num só, pois as duas cordas são independentes,
- há a possibilidade de obter uma extensão média das extensões de cada uma das duas unidades extensométricas.

## 2.1 - Princípio dos aparelhos de medida

### 2.1.1 - Generalidades

Quando se excita a corda dum extensómetro e ela entra em vibração, a corrente induzida, nas espiras do electro-íman, tem a mesma frequência da vibração da corda do extensómetro. A medição dessa frequência é feita no aparelho de medida onde se faz vibrar com a mesma frequência uma corda padrão (frequencímetro). Para conseguirmos este objectivo é necessário impor à corda padrão a tensão conveniente, o que é feito por intermédio de um parafuso micrométrico, que está ligado a um tambor graduado, no qual se faz a leitura pretendida. Para fazer as correcções da extensão, devidas às variações da temperatura, existe no interior do aparelho de medida um diapasão com uma frequência de vibração invariável ao longo do tempo, a qual é medida, em cada época, por intermédio do frequencímetro. Se entre duas épocas houver variação nesta medição, tal facto só pode ser devido a variações de temperatura que fizeram variar a tensão da corda do frequencímetro que teve de ser mais ou menos apertada, pelo parafuso micrométrico, até ficar a vibrar em unísono com o diapasão.

Assim, em cada época, far-se-ão duas leituras—a comparação com o diapasão, pondo a corda do frequencímetro a vibrar em unísono com aquele; a do

testemunho (extensômetro no interior da barragem), comparando a vibração do frequencímetro com a da corda do extensômetro.

Sabe-se que duas cordas têm a mesma frequência de vibração, quando produzem um som igual ao ouvido dum observador normal, ou então por intermédio da observação das figuras de Lissajous que se formam no écran dum tubo de raios catódicos.

Se designarmos por:

$C_1$  - o comprimento da corda padrão (frequencímetro)

$C_2$  - o comprimento da corda do extensômetro

$\gamma$  - a massa específica do material dessas cordas

$\sigma_1$  - a tensão a que se submete a corda padrão

$\sigma_2$  - a tensão a que está submetida a corda do extensômetro,

e, atendendo a que a lei de vibração duma corda vibrante é dada, como já dissemos, por :

$$f = \frac{1}{2C} \sqrt{\frac{\sigma g'}{\gamma}}$$

quando as frequências das duas cordas forem iguais verificar-se-á a seguinte relação

$$\frac{\sigma_1}{C_1^2} = \frac{\sigma_2}{C_2^2}$$

Atendendo à lei de Hooke, temos:

$$\sigma_1 = \epsilon_1 E$$

$$\sigma_2 = \epsilon_2 E$$

em que (E) é o módulo de elasticidade do aço das cordas. Então, vem:

$$\frac{\epsilon_1}{C_1^2} = \frac{\epsilon_2}{C_2^2}$$

relação esta que nos permite calcular o valor da extensão que o extensômetro sofreu.

Como por outro lado é

$$\delta_1 = \epsilon_1 C_1$$

$$\delta_2 = \epsilon_2 C_2$$

em que  $\delta_1$  e  $\delta_2$  são as deformações totais sofridas pelas duas cordas, vem :

$$\frac{\delta_1}{C_1^3} = \frac{\delta_2}{C_2^3}$$

A determinação da frequência de vibração das duas cordas faz-se actualmente a partir das figuras de Lissajous, e nunca pelo método auditivo, mais susceptível de erro.

### 2.1.2 - Identificação das figuras de Lissajous produzidas pela composição de duas vibrações rectangulares

#### 2.1.2.1 - Estudo teórico

Suponhamos que um ponto é solicitado ao mesmo tempo por dois sistemas de movimentos vibratórios rectangulares dirigidos segundo dois eixos normais,  $(Ox)$  e  $(Oy)$ , tendo amplitudes, fases e frequências variáveis.

As equações que traduzem estes movimentos são

$$x = K \cos 2 \pi (Mt - \varphi)$$

$$y = L \cos 2 \pi Nt$$

sendo :

M, N      frequências

$\varphi$       diferença de fase

K, L      amplitudes

A trajectória do movimento resultante obtem-se eliminando  $(t)$  entre estas duas equações. Esta eliminação, difícil geralmente, é simples em casos particulares.

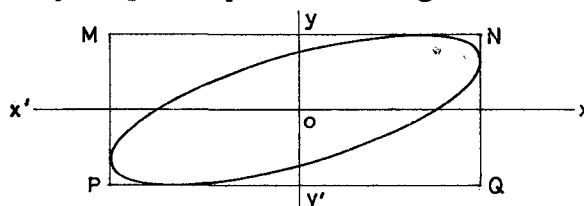
a) - Uníssonos

$$\frac{x}{K} = \cos 2\pi Nt \cos 2\pi\varphi + \sin 2\pi Nt \sin 2\pi\varphi$$

$$\frac{x}{K} = \frac{Y}{L} \cos 2\pi\varphi \pm \sqrt{1 - \frac{Y^2}{L^2}} \sin 2\pi\varphi$$

$$\frac{x^2}{K^2} + \frac{y^2}{L^2} - \frac{2xy}{KL} \cos 2\pi\varphi = \sin^2 2\pi\varphi$$

equação dum ellipse referida ao seu centro e inscrita no rectângulo ( $2K$ ,  $2L$ ), segundo uma orientação que depende do ângulo ( $2\pi\varphi$ ).



Se a diferença de fase dos dois movimentos simples é nula, então ter-se-á  $\varphi = 0$  e vem:

$$\frac{x}{K} - \frac{y}{L} = 0$$

A ellipse reduz-se a uma recta (PN), tendo por coeficiente angular ( $\frac{L}{K}$ ), e enquanto ( $x$ ) e ( $y$ ) vão de ( $K$ ) a ( $L$ ) para se anularem ao mesmo tempo e chegarem em seguida a ( $-K$ ) e ( $-L$ ), a recta irá de ( $N$ ) a ( $P$ ) e depois de ( $P$ ) a ( $N$ ), e assim sucessivamente.

Se  $\varphi = 1/4$  a equação representa uma ellipse referida aos seus eixos pois vem:

$$\frac{x^2}{K^2} + \frac{y^2}{L^2} = 1$$

e os movimentos componentes são então

$$\begin{cases} x = K \sin 2\pi Nt \\ y = L \cos 2\pi Nt \end{cases}$$

Vê-se que a ellipse gira no sentido dextrógiro.

Quando  $K = L$  a ellipse reduz-se a uma circunferência.

Se  $\varphi = 1/2$  obtém-se uma recta (MQ) de equação

$$\frac{x}{K} + \frac{y}{L} = 0$$

simétrica da precedente (PN) em relação aos eixos e descrita de (M) a (Q), e seguidamente de (Q) a (M).

Resumindo, para valores de  $(\varphi)$  de 0 a  $1/2$ , a curva é uma elipse, tendo o seu eixo maior dirigido segundo o ângulo  $(x$  o  $y)$ , se a diferença de fase é inferior a  $1/4$ , segundo o ângulo  $(x'$  o  $y)$  se esta diferença é superior a  $1/4$ . Crescendo de  $1/2$  a 1, a curva passa no sentido inverso pelas mesmas formas; as diversas trajectórias são percorridas em sentido contrário: o giro é sinistrosusum.

Os valores de  $(\varphi)$  superiores a 1 dão as mesmas curvas, pois que, duma maneira geral, uma diferença de fase igual a um número inteiro mais uma fracção não intervem algèbricamente senão por essa fracção.

b) - Acordes harmónicos

Quando as frequências (N) e (M) estão em relação (l) e (p) pode-se escrever:

$$\begin{cases} x = K \cos 2\pi (p Nt - \varphi) \\ y = L \cos 2\pi Nt \end{cases}$$

e, fazendo algumas transformações, virá:

$$\begin{aligned} x = K \cos 2\pi\varphi & \left[ \frac{y^p}{L^p} - \frac{p(p-1)}{1.2} \frac{y^{p-2}}{L^{p-2}} \left( 1 - \frac{y^2}{L^2} \right) + \dots \right] \pm \\ & \pm K \sin 2\pi\varphi \left[ \frac{p}{1} \frac{y^{p-1}}{L^{p-1}} \left( 1 - \frac{y^2}{L^2} \right)^{1/2} - \frac{p(p-1)(p-2)}{1.2.3} \frac{y^{p-3}}{L^{p-3}} \times \right. \\ & \left. \times \left( 1 - \frac{y^2}{L^2} \right)^{3/2} + \dots \right] \end{aligned}$$

Para  $p = 2$  (oitava) virá:

$$x = K \cos 2\pi\varphi \left( 2 \frac{y^2}{L^2} - 1 \right) \pm K \sin 2\pi\varphi \left( 2 \frac{y}{L} \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{L^2}}$$

Verifica-se que esta expressão analítica representa uma parábola.

Para

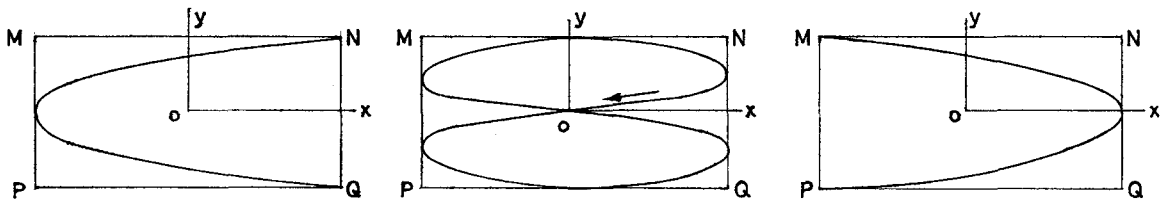
$$\begin{aligned} \varphi = 0 & \quad x = K \left( 2 \frac{y^2}{L^2} - 1 \right) \\ \varphi = 1/2 & \quad x = -K \left( 2 \frac{y}{L} \right) \end{aligned}$$

Quanto  $\varphi = 1/4$   $x = \pm K \left( 2 \frac{y}{L} \right) \left( 1 - \frac{y^2}{L^2} \right)$

e a sua representação geométrica é uma curva em forma de (8), passando pela origem, que é simultaneamente centro e ponto múltiplo. A curva tem dois pontos de tangência horizontal e quatro pontos de tangência vertical

$$\begin{aligned} x &= 0 & y &= \pm L \\ x &= \pm K & y &= \pm \frac{L}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

Entre estas duas figuras, as variações de fase conduzem a uma série de formas inscritas no rectângulo  $(2K, 2L)$ , e que se podem conceber supondo que o (8) se parte pelo meio e afasta os seus ramos, chegando por fim ao arco parabólico.



Para  $p = 3$  (décima segunda)

$$x = K \cos 2\pi\varphi \left( 4 \frac{y^3}{L^3} - 3 \frac{y}{L} \right) \pm K \sin 2\pi\varphi \left( 4 \frac{y^2}{L^2} - 1 \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{L^2}}$$

e vê-se que a curva se reduz a um (S).

Para

$$\varphi = 0 \quad x = K \left( 4 \frac{y^3}{L^3} - 3 \frac{y}{L} \right)$$

$$\varphi = 1/2 \quad x = -K \left( 4 \frac{y^3}{L^3} - 3 \frac{y}{L} \right)$$

Para  $\varphi = 1/4$  tem-se uma espécie de (8) de cruzamento duplo cuja equação é

$$x = \pm K \left( 4 \frac{y^2}{L^2} - 1 \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{L^2}}$$



A curva tem um ponto de tangência horizontal em cada extremidade ( $\pm L$ ) do eixo ( $oy$ ), e três pontos de tangência vertical em cada um dos lados  $x = \pm K$  do rectângulo circunscrito e para  $y = 0$  e  $y = \pm \frac{3}{4} L$ .

c) Caso geral

Se as frequências ( $N$ ) e ( $M$ ) estão em relação ( $q$ ): sendo ( $p$ ) e ( $q$ ) números primos entre si, a curva resultante apresentará ( $p$ ) contactos com cada um dos lados ( $x = \pm K$ ) e ( $q$ ) contactos com cada um dos lados ( $y = \pm L$ ) do rectângulo ( $2K, 2L$ ).

Com efeito, no intervalo de tempo  $pT = q \tau$  ( $T$  e  $\tau$  são os períodos  $\frac{1}{M}$  e  $\frac{1}{N}$  nos dois movimentos), ( $x$ ) vem ( $p$ ) vezes igual a ( $K$ ) e ( $y$ ) vem ( $q$ ) vezes igual a ( $L$ ). Como a curva é contínua, a trajectória tem ( $p$ ) pontos de tangência vertical e ( $q$ ) pontos de tangência horizontal. Ao fim do tempo  $pT = q \tau$ , volta-se ao ponto de partida: a mesma trajectória é percorrida.

2.1.2.2 - Estudo prático

Pode-se observar nas equações

$$x = K \cos 2 \pi (Mt - \varphi)$$

$$y = L \cos 2 \pi Nt$$

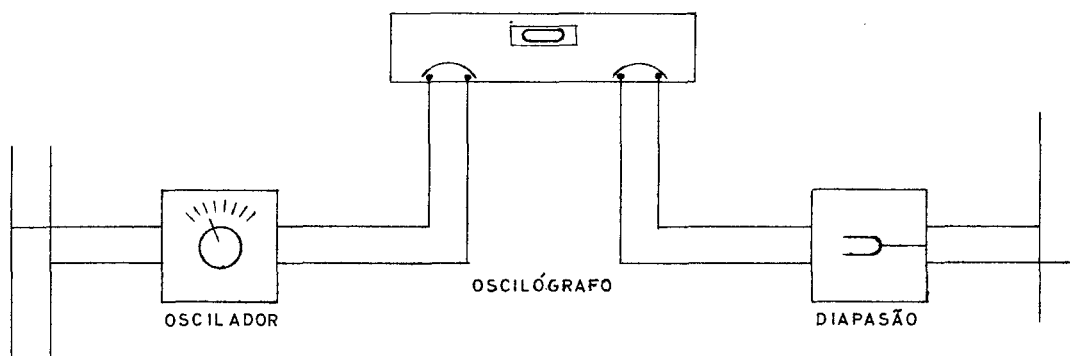
a) que as amplitudes dão as dimensões do rectângulo em que as figuras se inscrevem

b) que a relação entre as frequências parciais dá a forma da figura

c) que a defasagem ( $\varphi$ ) dá a evolução dentro de cada tipo de figura.

Uma maneira prática de identificar as diversas harmónicas é contar os pontos de tangência da curva com o rectângulo.

Outro processo será o de utilizar o seguinte esquema eléctrico:



O oscilador dá as diversas frequências ( $f$ ,  $2f$ ,  $3f$ , etc.) conhecidas.

O diapásão dá uma frequência ( $f$ ), igualmente conhecida.

No oscilógrafo vê-se quais as harmónicas que se produzem nos diversos casos. Por comparação com o que se passa no tubo catódico podem-se identificar as figuras desta última. Note-se que este processo é o que se realiza nos aparelhos do L.N.E.C., mas aí têm-se divisões do micrómetro e não sabemos quais as suas relações com as frequências.

O interesse de se conhecer a evolução da elipse e das harmónicas reside no facto de se ter assim possibilidade de diminuir o erro visual. Como se pode ler em qualquer fase duma figura, escolhe-se uma que esteja intercalada em formas já conhecidas. Escolhida uma figura determinada para a leitura tem-se que ler na mesma fase de evolução na série de leituras seguinte. É claro que, como se verá em 2.1.3, pode-se passar a ler noutra figura completamente diferente pois é possível passar da extensão duma para a outra.

Quando a corda está pouco tensa as figuras não se desenham bem, somente aparecendo nitidamente na parte final.

A leitura deve efectuar-se quando a figura observada se mantem relativamente no mostrador.

Na fig. X-7 estão desenhadas as figuras obtidas para as diferentes relações das frequências ( $N$ ) e ( $M$ ). A partir do conhecimento dessas figuras é fácil identificá-las quando elas aparecem no mostrador do aparelho de medida.

### 2.1.3 - Relação entre as extensões medidas com a elipse e as tensões medidas com as harmónicas

a) Estudo teórico - A frequência duma corda vibrante é dada como vimos por

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}}$$

Em que:

C - comprimento do fio

$\sigma$  - tensão

$\gamma$  - densidade

f - frequência

O valor de  $\epsilon$  será pois:

$$f^2 = \frac{1}{4} \frac{E}{C^2} \frac{E}{\gamma}$$

$$\epsilon = \frac{4 \gamma C^2 f^2}{E}$$

Pode-se pois escrever

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_1} = \frac{f^2}{f_1^2}$$

Assim, por exemplo

$$\epsilon_{1/2} = \frac{1}{4} \quad \text{elipse}$$

$$\epsilon_{2/3} = \frac{100}{144} \quad \epsilon_{4/5} = \frac{25}{36} \quad \epsilon_{4/5}$$

$$\epsilon_{1/3} = \frac{1}{9} \quad \text{elipse}$$

$$\epsilon_{4/5} = \frac{16}{25} \quad \epsilon_{\text{elipse}}$$

$$\epsilon_{2/3} = \frac{4}{9} \quad \text{elipse}$$

$$\epsilon_{3/4} = \frac{9}{16} \quad \text{elipse}$$

b) Verificação experimental - No quadro seguinte apresentam-se os valores das extensões obtidos nas leituras\* de uma corda vibrante com diversas harmónicas. Como se vê o erro cometido é pequeno.

QUADRO

Figura usada	Leituras			Diferença ( $l_2 - l_1$ ) = d	Extensão ( $10^{-6}$ )
	Diapasão	Inicial ( $l_1$ )	Final ( $l_2$ )		
Elipse	1 540	3 030	3 365	335	$335 \times 1 = 335$
2/3	3 060	1 545	1 694	149	$149 \times \frac{9}{4} = 335,2$
3/4	2 490	1 860	2 050	190	$190 \times \frac{16}{9} = 337,2$

(\*) - Leituras efectuadas com o aparelho descrito em 2.3.

Um facto que pode causar confusão é o aparecimento de figuras idênticas, por exemplo, a 3 060 e a 880 unidades Coyne\*. Trata-se das harmónicas  $2/3$  e  $3/2$ . Evidentemente que isto sucede para as outras harmónicas. O que pode suceder é não se apanhar no campo do aparelho que se possui as duas figuras idênticas. Deve-se reparar na diferença entre, por exemplo, a harmónica  $\frac{2}{3}$  e a  $\frac{3}{2}$ .



c) Conversão de extensões - Pode-se construir um diagrama que nos permita a passagem das extensões medidas com a elipse para as medidas nas outras harmónicas, e vice-versa. Esse diagrama está representado na fig. X-8.

As figuras utilizadas para as leituras são um meio e não um fim em si mesmo. Assim deve utilizar-se a elipse ou qualquer das outras harmónicas conforme a leitura se fizer mais facilmente.

## 2.2 - Aparelho de medida Maihak

Este aparelho está representado nas figs. X-9 e 10.

O princípio de medida já foi descrito; assim no interior da caixa há uma corda padrão - frequencímetro e um diapásão.

A comparação das frequências faz-se por observação do mostrador do tubo de raios catódicos. Neste formam-se figuras de Lissajous correspondentes à vibração do frequencímetro (imagem de um troço na direcção vertical) e à do diapásão ou do testemunho (imagem de um troço na direcção horizontal) (fig. X-11).

O aparelho pelo seu pequeno peso é portátil, sendo coberto por uma tampa metálica a qual possui uma pega. Quando não está a ser usado o aparelho

---

\* - Unidades do aparelho de leitura descrito em 2.3.

é colocado de modo a repousar sobre quatro bases de borracha ou nos quatro botões metálicos da parede posterior da tampa.

Trabalha com corrente alterna de 110 ou 220 V de 50 Hz. A rectificação da corrente é feita pelo dispositivo (11) que é constituído por três pequenos botões, dois dos quais pretos e um branco; o orifício em que é introduzido o botão branco indica a voltagem que não está a ser usada. Assim, se ele estiver no orifício da direita, o aparelho estará apto a trabalhar com corrente de 110 V; no da esquerda, o mesmo para a corrente de 220 V. Admitem-se desvios da voltagem indicada de  $\pm 10\%$  e de  $\pm 20\%$  para a frequência.

O aparelho dispõe, como acessório, de dez terminais azuis e de dez vermelhos, para neles serem ligados os terminais de outros tantos extensómetros simultâneamente.

Para pôr o aparelho em funcionamento, começa-se por abrir e retirar a tampa. Em seguida, ajusta-se a voltagem. Seguidamente, liga-se o aparelho à fonte alimentadora potencial. Depois ligam-se os terminais dos aparelhos a ler, começando por ligar o terminal indicado com o número (10) na parte posterior. Estes terminais são numerados em correspondência com as posições do botão selector (5); estar-se-á a ler um dado aparelho quando o botão selector (5) indicar o seu número.

Feito isto pode dar-se início às medições. A caixa é ligada por meio do comutador (10), pondo-o na posição (on), iluminando-se a escala (3). Após um pequeno intervalo de tempo aparece um traço luminoso horizontal no mostrador (2) (fig. X-11). Este traço corresponde òpticamente à vibração da corda padrão contida na caixa.

Os botões de controle (12) e (13) ajustam o foco e a luminosidade do traço e da figura que aparece em seguida. A corda do extensómetro, ligado à caixa, só entrará em vibração se for excitada pela mesma. Os impulsos eléctricos requeridos para a excitação da corda do extensómetro são produ

zidos através da caixa, automática ou manualmente.

Para a excitação manual, o comutador (15) deve ser rodado para a posição (manual) e o botão (6) premido repetidamente. Para a excitação automática o referido botão (15) deve ser rodado para a posição (automatic). A frequência da excitação pode ser regulada pelo botão (14) designado por (interval); à medida que ele é rodado para a esquerda, maior será a frequência dos impulsos de excitação.

Quer com a excitação manual, quer com a automática as oscilações da corda do extensómetro são visíveis no écran do tubo de raios catódicos como uma oscilação vertical (fig. X-11). A oscilação simultânea das cordas testemunho (extensómetro) e padrão (frequencímetro) aparece com o aspecto de uma figura inscrita num quadrado naquele écran, a qual lentamente se transforma numa linha horizontal se nenhuma excitação posterior for aplicada.

Durante o lento desaparecimento da figura, a corda padrão deve ser levada até à frequência da corda do extensómetro (testemunho), por meio do botão (4) de duas velocidades.

A coincidência das frequências será atingida quando aparecer uma figura luminosa fechada, semelhante a uma elipse ou a um círculo no mostrador do tubo de raios catódicos, aparecendo de novo a figura após cada impulso e sem apresentar movimentos de rotação.

O botão (4) de duas velocidades tem duas funções:

- a) regulação grosseira por meio do botão inferior, mais largo;
- b) regulação precisa por meio do botão superior, ligeiramente menor.

Durante intervalos entre medições, e com o aparelho ainda ligado (botão (10) na posição (on)), o comutador (5) deve ser rodado para a posição (K). Recomenda-se desligar o aparelho, botão (10) na posição (off), enquanto se fazem as ligações dos terminais dos extensómetros. Se o aparelho

estiver ligado, o comutador (5) deve ser rodado para a posição (K), enquanto se fazem as operações de ligar e desligar os extensômetros.

Deve dar-se, sobretudo nas medições feitas no campo, particular importância à ligação à terra (8) do aparelho. Variações no potencial influenciam a pureza das imagens no mostrador (2), provocando distorsões naquelas. Nestes casos deve ser estabelecida uma ligação à terra, a partir do terminal no painel posterior indicado com (8), existente entre os terminais de ligação do extensômetro (1), entre a caixa e qualquer corpo do potencial terrestre.

Com o fim de aumentar a segurança das medidas, é sempre aconselhável verificar o zero do aparelho antes e após cada série de leituras.

Para este fim está incorporado um diapásão no aparelho, como já referimos. Na posição (K) do comutador (5) a oscilação do diapásão pode ser vista, como uma oscilação vertical, no mostrador (2). Se a frequência da corda padrão (frequencímetro) é sintonizada, para a do diapásão a linha vermelha do cursor, na janela da escala (3) deve cobrir exactamente a divisão 250 (ponto de controle). Qualquer disparidade, nesta leitura, pode ser corrigida, como segue:

- a) Pôr o comutador (5) na posição (K)
- b) Rodar o botão (4) até que o cursor coincida com a divisão 250 da escala
- c) Rodar o botão de ajustamento do zero (9) designado por (K), até que a figura que significa uníssonos (elipse) apareça no mostrador (2).

O aparelho fica então ajustado. Daqui em diante as medições serão levadas a cabo, actuando apenas no botão (4).

Um deslocamento intencional do zero pode, em certos casos, ser utilizado com a finalidade de aumentar o campo de medida. Assim, por exemplo, se um dado aparelho estiver a trabalhar predominantemente à compressão, não faz sentido ajustar o zero na divisão 250 pois perder-se-ia me

tade do campo (visto que a escala tem 500 divisões), que só seria usada para medir deformações em tracção. Para aproveitar, então todo o campo de medida para deformações em compressão, deve ajustar-se o zero na divisão 500 da escala e assim todo o campo de medida da caixa está ajustado para ler deformações em compressão.

O contrário se passa se um extensómetro estiver colocado numa zona de tracção preponderante, em que então se deve ajustar o zero na divisão 0 da escala para então aproveitar todo o campo de medida a medir deformações por tracção.

Esta operação de ajuste do zero deve ser feita, para cada aparelho, na primeira leitura, imediatamente após a colocação do mesmo, pois fácil se torna ver em qual dos casos se está. Uma vez feito este ajuste inicial, ele deve ser mantido ao longo de todas as leituras feitas para esse extensómetro. Num único caso é aconselhado modificar esse valor ajustado: é no caso em que entre duas leituras, e mantendo o ajustamento inicial, a leitura do extensómetro não pode ser feita na figura anterior. Neste caso deve modificar-se o ajustamento do zero até o conseguir.

Se nem assim se conseguir essa igualdade de figuras mantem-se o ajustamento inicial e lê-se numa outra figura. Damos em seguida algumas instruções de ordem prática sobre as leituras com as várias figuras de Lissajous.

Como se disse já, a determinação da extensão é feita por comparação com a extensão do frequencímetro, cuja frequência de vibração pode ser conhecida a partir dos valores dados pela escala (3). Esses valores, a menos de uma constante, representarão então a extensão sofrida pelo frequencímetro, e a partir dela determinamos a extensão sofrida pelo extensómetro. Quando se faz leituras em que aparece no écran a figura elipse, tal facto significa que a frequência de vibração da corda do extensómetro



e do aparelho são iguais e, como a relação das extensões é o quadrado da relação das frequências:

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

também as extensões das mesmas cordas são iguais, a menos de uma constante, (K) pelo facto dos comprimentos das duas cordas não serem, em geral, iguais.

Então neste caso, se numa dada época as leituras para o extensómetro e para o diapasão tiverem sido ( $T_1$ ) e ( $D_1$ ), e para a época seguinte forem ( $T_2$ ) e ( $D_2$ ), respectivamente, a extensão sofrida pela corda do extensómetro entre as duas referidas épocas será:

$$\epsilon = \left[ (T_2 - T_1) - (D_2 - D_1) \right] \times K$$

em que (K) é a constante já referida, expressa em unidades de extensão por divisão da escala e resultante, como vimos, do facto de as cordas do extensómetro e do frequencímetro não serem em geral iguais.

No entanto, nem sempre é possível fazer leituras com a figura elipse, visto que por vezes a corda do extensómetro está de tal maneira tendida que, apesar do zero estar ajustado na divisão zero da escala, a figura elipse sai fora do campo de medida do aparelho. Neste caso ler-se-á em qualquer outra figura para a qual a relação das frequências (do frequencímetro e do extensómetro) é conhecida. Então a fórmula de cálculo da extensão, a usar, será:

$$\epsilon = \left[ (T_2 - T_1) - (D_2 - D_1) \right] \times n \times K$$

em que (n) é um coeficiente, destinado a fazer a correcção da extensão, pelo facto das frequências do extensómetro e do frequencímetro serem diferentes. Seja essa relação de frequência 1/2 por exemplo. Então a relação das extensões será de 1/4, como se deduz da expressão acima.

Neste caso se forem  $(T_1)$  (figura 1/2) e  $(D_1)$  (elipse ou figura 1/1) as leituras para o extensômetro e diapasão respectivamente na época 1, e  $(T_2)$  (figura 1/2) e  $(D_2)$  (elipse ou figura 1/1) as mesmas leituras na época 2, a extensão entre as duas épocas será:

$$\varepsilon = \left[ (T_2 - T_1) - (D_2 - D_1) \right] \times \frac{1}{4} \times K$$

Isto pressupõe ainda que as leituras  $(T_1)$  e  $(T_2)$  tenham sido feitas na mesma figura, o que se consegue em geral, fazendo variar o ajustamento do zero. A grande dificuldade surge, quando entre duas épocas, não se consegue ler na mesma figura, por mais que se actue no ajustamento do zero. Neste caso só se poderá calcular a extensão, se houver leituras iniciais do extensômetro nas duas figuras em que se fizeram as leituras nas duas épocas. Por isso é sempre conveniente fazer na época inicial, imediatamente após a colocação, leituras do extensômetro nas várias figuras em que é habitual fazer leituras (figuras 1/1, 1/2, 1/3, 2/3 e 3/4 e seus inversos 2/1, 3/2 e 4/3), pois só assim é possível fazer o cálculo da extensão em qualquer caso.

No aparelho Maihak da D.O. cada divisão da escala, do campo de medida 0 - 500, vale  $4,85 \times 10^{-6}$  unidades de extensão, para cordas de 20 cm. Este valor foi obtido experimentalmente. Para se saber o valor de cada divisão, para extensômetros que possuam cordas de outros comprimentos, far-se-á como se indicou:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{C_1^2}{C_2^2}$$

em que:

$$\varepsilon_1 = 4,85 \times 10^{-6}$$

$\varepsilon_2$  - é a correspondência procurada

$C_2$  - comprimento da corda do extensômetro em estudo.

$$C_1 = 20 \text{ cm}$$

O comprimento da corda padrão do aparelho Maihak obtem-se pela seguinte proporção:

$$\frac{4,85}{1} = \frac{20^2}{C^2} \therefore C = 9,07 \text{ cm}$$

sendo (C) o comprimento da corda padrão.

### 2.3 - Aparelho de medida Télémac (Coyne)

Este aparelho de medida destinado, como o aparelho Maihak, a ler os extensómetros acústicos é baseado nos mesmos princípios que aquele. Assim, possui no interior uma corda padrão e um diapasão, o processo de medida é o mesmo já descrito, e por isso nos dispensamos de o fazer novamente. Limitar-nos-emos a dar breves instruções para a manipulação do aparelho Electrom existente no L.N.E.C. (figs. X-12 e 13).

O aparelho é ligado pelo interruptor (8), deslocando-o para baixo, e possui o voltímetro (9) que nos dá a corrente com que se está a trabalhar. O comutador (6) tem as posições (DIAB) e (TEST) e como tal destina-se a fazer as ligações internas para as leituras habituais - diapasão e extensómetro (testemunho). O comutador (5) tem as seguintes posições: (BAT.), (TEST.) ou (DIAP.), (FREQ.) e (DESL.). A posição (BAT.) destina-se a fazer leituras por meios acústicos, e neste caso o unísono é obtido auditivamente por meio de um par de auscultadores (18) que devem então ser ligados aos terminais (11). Devemos dizer que, tanto quanto possível, se deve evitar este tipo de comparação muito falível, devendo apenas ser utilizado na total impossibilidade de utilização do método visual. A posição (TEST.) ou (DIAP.) destina-se a fazer leituras do diapasão e do extensómetro, as quais podem também ser feitas com o comutador na posição (FREQ.). A posição (DESL.) destina-se a desligar o dispositivo de alimentação eléctrica do mostrador do tubo de raios catódicos (T.R.C.).

O tambor (4) ligado à escala (3) destina-se a fazer variar o comprimento da corda padrão (frequencímetro), e é actuando nele que se vai comparar a extensão do extensómetro com a extensão que então aplicamos ao frequencímetro. Esta escala está graduada de 0 a 5 000 de tal maneira que, para cordas de 20 cm de comprimento, cada divisão vale  $1 \times 10^{-6}$  unidades de extensão. Para cordas de qualquer outro comprimento, e para saber o valor de cada divisão da escala em unidades de extensão, far-se-á a proporção seguinte, já atrás referida:

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{C_1^2}{C_2^2}$$

em que

$\epsilon_1 = 1 \times 10^{-6}$  unidades de extensão

$\epsilon_2$  - é a equivalência procurada

$C_1 = 20$  cm

$C_2$  - o comprimento da corda do extensómetro em estudo.

O facto de no tensómetro catódico, a constante de correspondência - divisões da escala/unidades de extensão - ser igual a 1, resulta de a corda padrão da caixa ter exactamente o comprimento de 20 cm.

O botão (7) comanda a excitação da corda do extensómetro que, para este aparelho, só pode ser manual. No aparelho Electrom (série 500) existe uma excitação automática. O mostrador do tubo de raios catódicos (2) destina-se a fazer a comparação visual das frequências das duas cordas e nele vão aparecer as várias figuras de Lissajous, já referidas. Este mostrador tem a particularidade de possuir no seu interior, um espelho plano que permite ver as figuras de duas posições - frontal e direita - conforme o leitor se pretenda colocar.

O aparelho possui uma ficha (17) de ligação à tomada de corrente.

Os terminais (10) destinam-se a fazer a ligação ao aparelho, do ex tensómetro medidor.

Na parte posterior do painel há cinco botões destinados a fazer a regulação da focagem e luminosidade da imagem, quando se comparam os pares de cordas - diapasão/frequencímetro, testemunho/frequencímetro. As sim, o botão (12) designado por (FOC.) serve para fazer a focagem, e o botão (13) designado por (INTENS.) serve para fazer a regulação da lumini dosidade e contraste da imagem. O botão (14)-(DIAP.) - destina-se a fa zer aparecer no mostrador a oscilação do diapasão, o (15)-(TEST.) - desti na-se ao mesmo fim para a corda do extensómetro e o (16)-(FREQ.) -, o mesmo para o frequencímetro. Assim a oscilação do frequencímetro aparece no mostrador como uma deflecção horizontal, enquanto que as oscilações do diapasão e do extensómetro aparecem como deflecções verticais. Da com binação da oscilação de cada uma destas com a deflecção do frequencímetro resultam as várias figuras de Lissajous. Qualquer um dos cinco botões (12), (13), (14), (15) e (16) dá o valor mínimo, quando rodado para a es querda e o máximo quando rodado para a direita. Para proceder às leitu- ras com o aparelho devem fazer-se as operações seguintes:

- a) Ligar o extensómetro a ler aos terminais (10).
- b) Ligar o aparelho à fonte alimentadora de potencial (220 V) por meio da ficha (17).
- c) Puxar o interruptor (8) para baixo; nesta altura ilumina-se a es cala (3) e o voltímetro (9) acusa a passagem da corrente.
- d) Pôr o comutador (6) na posição (DIAP.) e o comutador (5) na posição (TEST.) ou (DIAP.).
- e) Rodar os botões (12), (13), (14) e (16) para a direita até  $\frac{3}{4}$  dos seus campos e carregando repetidamente no botão (7), ao mesmo tempo que se roda o tambor (4), procurar obter no mostrador a elipse.

f) Rodar ligeiramente os botões (12) e (13) até obter uma imagem nítida e bem contrastada.

g) Ler na escala (3) o valor da leitura ( $D_1$ ). É preciso fazer diversas leituras com esta escala até a conhecer bem, pois cometem-se, por vezes, erros, por excesso e por defeito, de 500 divisões.

h) Rodar, agora, o comutador (6) para a posição (TEST.) e manter o comutador (5) na posição (TEST.) ou (DIAP.), (obtem-se o mesmo efeito se o rodarmos para a posição (FREQ.)).

i) Accionando repetidamente o botão (7), ao mesmo tempo que se roda o tambor (4), procurar obter de novo a elipse, ou qualquer outra das figuras de Lissajous.

Ler de novo e anotar a leitura da escala (3), ( $T_1$ ).

j) Rodar o interruptor (8) para cima.

Se na época seguinte as leituras forem ( $T_2$ ) e ( $D_2$ ) para o testemunho e diapasão, respectivamente, nas mesmas figuras, a extensão entre as duas épocas será, como vimos, dada por:

$$\varepsilon = \left[ (T_2 - T_1) - (D_2 - D_1) \right] \times n \times K$$

Todas as instruções que se deram, a propósito do aparelho Maihak sobre leituras iniciais do extensómetro nas várias figuras, são inteiramente válidas para aqui, bem como as diversas fórmulas de cálculo.

Para evitar perdas de tempo, de cada vez que se fazem leituras, é aconselhável marcar no painel do aparelho e para cada um dos cinco botões (12), (13), (14), (15) e (16) a regulação inicial que será usada para todas as leituras. Assim, no início de cada leitura, rodar-se-ão os diversos botões para essas posições marcadas no painel, e se poupará, de cada vez, o trabalho de nova regulação.

#### 2.4 - Aparelho de medida Electrom (Tensómetro Catódico Série 500)

Este aparelho de medida, construído pela Sociedade Electrom que lhe deu o nome de "Tensómetro Catódico" (figs. X-14 e 15), apenas difere do anterior na disposição dos botões e nas comutações que eles podem realizar. Limitar-nos-emos, então, a indicar a finalidade dos vários botões, mostradores e terminais, pois o princípio de medida e a manipulação em nada diferem da descrita para o aparelho de medida Télémac.

O tambor (1) ligado à escala (2) destina-se a fazer variar o comprimento da corda padrão; a escala (2) está graduada de 0 a 5 000 de tal modo que cada divisão de escala corresponde a  $1 \times 10^{-6}$  unidades de extensão para cordas de 20 cm. O mostrador (3) do tubo de raios catódicos destina-se, como já se disse, a fazer a comparação visual das frequências dos pares de cordas - frequencímetro/diapasão - extensómetro/frequencímetro. A janela (4) aberta na parede lateral esquerda do aparelho, destina-se a conter depois de enrolada, a ficha (11) de ligação à tomada de corrente de 220 V.

O parafuso (5) destina-se a fazer a ligação à terra. Pelos terminais (6) designados (TEST.) é ligado o extensómetro ao aparelho. O voltímetro (7) indica a passagem de corrente. À tomada (8) vai-se inserir o cabo de ligação da tomada de corrente (11) de alimentação do aparelho.

O interruptor (12), com duas posições (DESL.) e (LIG.), destina-se a ligar e a desligar o sistema auditivo de comparação de frequência; assim, quando se pretende fazer tal comparação, ela deve ser rodada para a posição (LIG.) e os auscultadores (13), ligados aos terminais (15) - (AUSC.).

O interruptor (14) com as posições (MANUAL) e (AUTOMÁTICA) destina-se a fazer as comutações da excitação, que neste aparelho pode ser manual ou automáti

ca. Com ele na posição (MANUAL) a excitação é comandada pelo operador, actuando repetidamente no botão (9) designado (EXCIT.).

Sensivelmente no centro do painel existe um pequeno painel com 6 botões (16), (17), (18), (19), (20) e (21) destinados a fazer as comutações necessárias às leituras das frequências das cordas - diapasão e testemunho -, bem como os destinados a fazer a focagem da figura luminosa.

Assim o botão (16) com as posições (DESL.) e (INT.) destina-se a ligar (INT.) e desligar (DESL.) a alimentação interior do aparelho, e assim quando rodado para a posição (INT.) e com a tomada (11) ligada à fonte alimentadora de corrente, iluminar-se-ão a escala (2) e o mostrador (3). O botão (17) (FOC.) destina-se a fazer a focagem da figura luminosa e deve estar quase totalmente rodado para a esquerda. O botão (18) com as posições (TEST.) e (DIAP.) destina-se a fazer as comutações necessárias às leituras de frequência do extensómetro e do diapasão. Os botões (19) - (FREQ.) -, (20) - (DIAP.) e (21) - (TEST.) - destinam-se a introduzir a oscilação das cordas que designam, no mostrador do T.R.C., e devem ser rodados para a direita, cerca de  $\frac{3}{4}$  do seu campo.

### 10.3 - Extensómetros de resistência eléctrica

#### 10.3.1 - Extensómetro Carlson de pequena base, tipo SA-10

O extensómetro Carlson tem um princípio de medida, totalmente diverso dos extensómetros acústicos.

Neste tipo de extensómetros realizam-se no seu interior dois enrolamentos com resistências ( $R_1$ ) e ( $R_2$ ). A temperatura é uma função de ( $R_1 R_2$ ) e a extensão é função de  $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ .

Não temos, então, em cada época, mais do que medir com o aparelho Carlson de medida que adiante se descreverá a resistência total dos dois



enrolamentos e a relação das suas resistências e a partir desses valores e das constantes de calibração dos aparelhos (fornecida pelo fabricante) de terminar a temperatura nesse betão e a extensão sofrida.

O extensómetro Carlson SA-10 (Carlson strain-meter SA-10) (figs.X-16 e 17) é constituído por um cilindro de latão de 25,4 cm de comprimento, em parte canelado o que lhe dá deformabilidade, dentro do qual uma estrutura de aço suporta quatro isoladores de porcelana, entre os quais se estabelecem dois enrolamentos de fio de aço com o diâmetro de 0,06 mm aproximadamente.

A particularidade principal destes aparelhos reside no facto de que quando o extensómetro sofre uma deformação, os dois enrolamentos sofrem de formações iguais, mas opostas. Este facto permite utilizar o extensómetro como termómetro, o que já referimos ao tratar deste aparelho no capítulo das temperaturas, medindo a resistência dos dois enrolamentos em série, que será então afectada somente pela temperatura e não pela deformação sofrida pelo aparelho. A resistência total dos dois enrolamentos é geralmente da ordem dos 65  $\Omega$  a 0°C, e aumenta cerca de 1  $\Omega$  por cada 5°C de variação de temperatura.

A relação das duas resistências, que é sempre muito próxima da unidade, é usada como uma medida sensível da variação do comprimento do extensómetro, usualmente calibrada em cerca de  $4 \times 10^{-6}/0,0001$  da relação das resistências.

Procedendo assim, as medições das extensões são independentes das variações de temperatura, visto que estas afectam ambos os fios igualmente, o que representa outra vantagem do aparelho sobre os do tipo de corda vibrante.

Com efeito a relação  $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$  não é afectada pela variação da temperatura, pois, sendo:

$$R_1 = R_{o_1} (1 + \alpha \Delta t)$$

$$R_2 = R_{o_2} (1 + \alpha \Delta t)$$

é

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{o_1}}{R_{o_2}}$$

para qualquer  $\Delta t$ .

Como já atrás referimos, os enrolamentos são suportados por uma estrutura metálica que se dilata livremente dentro do tubo do aparelho por motivo das variações de temperatura, deformando-se desigualmente, isto é, de quantidades diferentes, os dois enrolamentos, sendo necessário pois aplicar uma correcção de cerca de  $+4 \times 10^{-6}$  por cada subida de  $1^{\circ}\text{C}$  de temperatura. Estas constantes são variáveis de aparelho para aparelho.

A amplitude é de cerca de 0,25 mm para um e outro lado da posição inicial (ponto neutro), que é suficiente para a determinação das deformações que habitualmente aparecem no betão; é contudo limitado, e os medidores habitualmente vão à rotura, se uma fenda se desenvolve contra eles.

Toda a resistência à deformação do extensómetro é elástica. A parte exterior de latão comporta-se elasticamente na secção enrugada (folle); os enrolamentos de aço são elásticos, e as duas barras de aço são unidas por molas de chapa de aço, altamente elástico.

Deste comportamento elástico das diversas partes, resulta uma relação contínua e progressiva entre a variação de comprimento do extensómetro e a relação das resistências, mesmo quando medindo extensões da ordem de  $0,5 \times 10^{-6}$ .

Visto que a determinação da temperatura e da extensão depende da medida de variações muito pequenas de resistência dos dois enrolamentos de aço, necessário se torna tomar cuidadosas precauções para evitar as corrosões que poderiam provocar alterações nas resistências. Assim, o interior do extensómetro é cheio com óleo de rícino onde os elementos ficam mergulhados. Para não impedir as variações de comprimento o interior do extensómetro não é completamente cheio, deixando-se uma pequena câmara cheia de azoto.

Não há materiais na câmara de trabalho do extensômetro que possam causar contaminações do óleo ou deteriorações dos enrolamentos. Além da câmara de trabalho, em que estão contidos os enrolamentos, há uma ou tra câmara estanque, separada daquela, onde se vão inserir os terminais dos condutores recobertos a borracha.

O esquema das ligações dos extensômetros ao aparelho de leitura Carlson, bem como as comutações realizadas por este aparelho serão descritas adiante quando se tratar das instruções para a manipulação do aparelho de medida Carlson; diremos apenas que o cabo de ligação destes extensômetros ao exterior é constituído por três condutores multifilares de cobre, revestidos a borracha, com as cores de código - preto, verde e branco, sendo o verde comum aos dois enrolamentos e inserindo-se o preto numa das extremidades do enrolamento de expansão e o branco numa das extremidades do de contracção.

Indicaremos seguidamente o modo de cálculo das extensões a partir dos valores determinados pelo aparelho de medida - resistência total e relação das resistências - e das constantes dadas pelo fabricante dos aparelhos e que os acompanham.

As constantes que acompanham cada aparelho são:

- a) a resistência total ( $R_0$ ) à temperatura ( $T_0$ ) =  $0^{\circ}\text{C}$
- b) a variação de temperatura ( $\Delta t$ ) em graus centígrados por ohm de variação de resistência
- c) a variação de extensão ( $\epsilon_1$ ), por décimo milésimo de variação da relação das resistências (temperatura constante)
- d) a correcção ( $\epsilon_2$ ) devida à variação de  $1^{\circ}\text{C}$  de temperatura.

Temos, então, já, todos os elementos necessários para o cálculo da extensão real. Assim se designarmos por ( $\Delta r$ ) e por ( $\Delta T$ ), respectivamente as variações das relações de resistência e da temperatura (cujo modo de

calcular se indicou em 7.2), respectivamente a partir da relação das resistências e temperatura iniciais, para calcularmos o valor da extensão real ( $\epsilon_r$ ), em relação à data inicial, procedemos do seguinte modo:

a) Começamos por calcular a extensão aparente ( $\epsilon_a$ ), que é dada por:

$$\epsilon_a = \Delta r \times \epsilon_1$$

b) A correcção  $\epsilon_t$  da extensão, devida à temperatura será:

$$\epsilon_t = \Delta T \times \epsilon_2$$

c) O valor da extensão real ( $\epsilon_r$ ), será então:

$$\epsilon_r = \epsilon_a + \epsilon_t$$

### 3.2 - Extensómetro eléctrico de grande base

Para as medições no interior da rocha de fundação teve que se pôr de parte a utilização dos extensómetros Carlson já referidos, cujas indicações, por terem uma pequena base de medida, eram pouco significativos do comportamento real do maciço de fundação. Assim pensou-se em construir um extensómetro com maior base, dispositivo esse designado por extensómetro de grande base.

Este aparelho (fig. X-18) é formado por um medidor de juntas Carlson ao qual se encontra atarrachado um varão de aço. O conjunto, com um comprimento aproximado de 2 m, é protegido por uma camisa de chapa de cobre de 0,3 mm de espessura, cheia com uma massa consistente.

O extremo livre do varão de aço, que tem 1,2 cm de diâmetro, deve ter um comprimento de rosca da ordem dos 8 mm, suficiente para permitir a regulação do aparelho.

O medidor de juntas Carlson, contido no interior do tubo de latão, constitui o elemento medidor do dispositivo e todas as deformações deste

são-lhe transmitidas integralmente pelo varão de aço. A chapa do tubo de latão, pela sua pequeníssima espessura confere ao dispositivo grande de formabilidade longitudinal.

Como já referimos, o medidor de juntas tem um campo de medida, em abertura, de cerca de 5 mm, e é nulo, praticamente, em fecho. O aparelho vem do fabricante no estado de abertura "zero", sendo necessário dar-lhe alguma abertura antes da colocação, para o tornar apto a medir deformações por compressão, a solicitação normal nos terrenos.

Para a regulação do aparelho, imediatamente antes da sua colocação, deve ser dada uma abertura de dois terços do seu campo (3,5 mm) e para isso deve-se fazer a sua ligação ao aparelho de medida Carlson e apertar lentamente a porca (fig. X-18) até obter a abertura desejada. É, então, necessário conhecer as suas constantes e calcular a relação de resistências em que ele deve ficar regulado, a qual será correspondente à abertura de dois terços do seu campo, já referida. Então procede-se do modo seguinte:

- a) Ligar o aparelho ao aparelho de medida Carlson
- b) A partir do conhecimento da relação das resistências inicial ( $r_0$ ) fornecida pelo fabricante, bem como da constante de calibração do aparelho ( $\Delta c$ ) (expressa em mm de abertura por 0,0001 de variação da relação das resistências) determinar o incremento da relação das resistências correspondente a uma abertura de 3,5 mm. Seja esse valor ( $\Delta r_1$ )
- c) Somar esse valor ao valor da relação das resistências inicial, fornecida pelo fabricante. Seja o valor da soma  $r_1 = r_0 + \Delta r_1$
- d) Rodar lentamente a rosca, no sentido da abertura, e ler repetidamente a relação das resistências, até se atingir o valor ( $r_1$ )
- e) Soldar a porca, com o que o aparelho ficará apto para a colocação.

Se for ( $\Delta x$ ) a abertura ou fecho medido em milímetros pelo medidor de juntas, a extensão ( $\epsilon$ ) medida pelo extensómetro será dada por:

$$\epsilon = \frac{\Delta x}{2\ 000}$$

por ser de 2 m o comprimento do extensómetro.

### 3.3 - Extensómetro para armadura

Designa-se assim um extensómetro projectado com a finalidade de medir os esforços de tracção que se exerçam sobre as armaduras, nos casos em que a barragem é armada. Existem extensómetros deste tipo na barragem do Alto-Rabagão.

Este extensómetro (fig. X-19) tem como elemento medidor um extensómetro de resistência eléctrica Carlson tipo SA-10 de 25,4 cm de comprimento, que é montado dentro de um tubo de aço com as mesmas características mecânicas do aço da armadura em que é aplicado, e com uma secção equivalente. O tubo de aço, que envolve o extensómetro, tem uma espessura de 5,23 mm, e um diâmetro exterior de 42,21 mm para armaduras de 1" de diâmetro.

O dimensionamento do tubo de aço é feito para a secção mais desfavorável, que neste caso foi a secção (A-A) (fig. X-19), pois possuía dois parafusos a atravessá-la, o que reduzia bastante a secção. Mantendo esta secção em todo o restante troço do tubo ele fica superdimensionado, sem contudo se falsearem os resultados. No momento da colocação, o extensómetro, assim preparado, é soldado à armadura respectiva por meio de duas peças com as quais se faz a transição do diâmetro da armadura para o diâmetro exterior do tubo, mantendo-se em todos os pontos de transição uma secção igual à da armadura. Esta peça é ligada, quer à armadura, quer ao tubo, por cordões de soldadura e possui interiormente um anel que torna mais fácil a soldadura por cordão.

## CAP. XI - MEDIÇÃO DIRECTA DE TENSÕES

### 1 - GENERALIDADES

Os aparelhos que nos permitem a medição directa de tensões designam-se, habitualmente, por tensómetros.

Os tensómetros diferem dos extensómetros porque estes medem as variações de comprimento que são convertidas em tensões, por métodos apropriados, enquanto que os tensómetros medem, com certa aproximação, as tensões de compressão, independentemente das deformações sofridas pelo betão.

Os tensómetros podem ter a forma de um cilindro ou a de um folheto.

No primeiro caso devem obedecer às seguintes condições:

- a) O módulo de elasticidade do cilindro ser muitas vezes o do betão.
- b) Não haver deformações à excepção daquelas que sejam directamente proporcionais às tensões.
- c) Aplicar um factor de redução ao aparelho.

O tensómetro com a forma de folheto, usado entre nós, é o tensómetro Carlson. Contudo o L.N.E.C. possui um modelo de tensómetro cilíndrico que foi utilizado na barragem de Pracana com a designação de célula C-14 (fig. XI-1).

### 2 - TENSÓMETRO CARLSON (Carlson stress-meter for concrete-Series PC)

O princípio de funcionamento do tensómetro Carlson é o de que as tensões, e portanto as extensões, num disco pouco espesso e de material elástico, estão ligadas através de uma relação exacta com as tensões do betão envolvente, mas não necessariamente com as suas deformações.

O tensómetro Carlson (figs. XI-2 e 3) tem a forma de um disco, com cerca de 18 cm de diâmetro e 1,3 cm de espessura, que fica envolvido pelo betão. De um dos lados do disco, sai um elemento cilíndrico de 2,5 cm de diâmetro e 12 cm de comprimento que contém o elemento de medida (extensómetro), e que é coberto com uma manga de algodão a fim de quebrar a aderência do corpo com o betão. O disco contém um filme de mercúrio, de tal maneira que a pressão no mercúrio seja sempre sensivelmente igual à pressão reinante no betão, comprimido contra as faces do disco. A parte central do disco, cortada em parte da sua espessura, é mais flexível. Este diafragma actuado pelo mercúrio sofre deformações elásticas directamente proporcionais à intensidade das tensões.

O referido extensómetro montado na outra face do disco detecta as deformações do diafragma. Esta unidade extensométrica mede tensões, directamente proporcionais às variações da relação das resistências dos dois enrolamentos, e mede temperaturas em termos de resistência em série, como se disse ao tratar do extensómetro Carlson. As medições são efectuadas com o aparelho de medição Carlson.

A sensibilidade e o campo de medida do tensómetro estão interligados e variam com a espessura do diafragma interior. Para as aplicações normais um campo de medida de 0 - 56 kg/cm<sup>2</sup> (PC-800) à compressão, satisfaz. Mas existem mais dois tipos - (PC 400) e (PC 1500) para tensões máximas de 28 kg/cm<sup>2</sup> e 105 kg/cm<sup>2</sup>. Para o tensómetro PC-800 a sensibilidade é de cerca de 0,35 kg/cm<sup>2</sup> por 0,0001 de variação da relação das resistências, e a constante da temperatura anda à volta de 4,5°C por ohm.

Quando se calculam as tensões, a partir dos valores dados pelo aparelho, aplica-se uma pequena correcção devida à temperatura, pelo facto de o disco se dilatar mais que o betão envolvente. Esta correcção varia usualmente de 0,03 a 0,1 kg/cm<sup>2</sup> por °C, correspondendo os menores valores às



idades mais jovens do betão, e é dada por:

$$C = - \left[ \left( 80 \frac{T}{D} + 6,7 \right) 10^{-6} - K \right] \cdot EF \text{ psi por } 1^{\circ}F$$

em que:

E - módulo de elasticidade efectivo do betão

K - coeficiente de dilatação térmica do betão (cerca de  $5,55 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}F^{-1}$ )

F - factor dependente do aparelho (cerca de 0,07)

T - espessura da camada de mercúrio

D - espessura do diafragma (usualmente 1,25 cm).

Os valores de (T) e (D) são fornecidos pelo fabricante e acompanham o aparelho. Os valores de (K) e (E) têm de ser determinados em laboratório.

Vamos agora indicar o processo de cálculo das tensões a partir dos valores determinados pela célula, das constantes dadas pelo fabricante dos aparelhos e do conhecimento do valor do módulo de elasticidade efectivo do betão.

As características que acompanham cada aparelho são as seguintes:

- resistência total ( $R_0$ ), à temperatura ( $T_0$ ) =  $0^{\circ}C$
- variação de temperatura, ( $\Delta t$ ), em  $^{\circ}C$  por ohm
- variação de tensão, ( $\Delta \sigma$ ), em  $kg/cm^2$ , por 0,0001 de variação da relação das resistências
- espessura do filme de mercúrio, (T), em polegadas
- espessura do diafragma, (D), em polegadas
- factor de dependência da célula,  $F = 0,07$ .

O valor da tensão instalada entre duas épocas será dado por:

$$\sigma = \Delta r \cdot \Delta \sigma + C \cdot \Delta T$$

ou seja

$$\sigma = \Delta r \cdot \Delta \sigma - \left( 80 \frac{T}{D} + 1,15 \right) 10^{-6} \times 0,00882 E \cdot \Delta T \text{ kg/cm}^2$$

## CAP. XII - APARELHO DE MEDIÇÃO CARLSON

### 1 - GENERALIDADES

Este aparelho (figs. XII-1 e 2), designado pelo fabricante como "Carlson strain-meter testing set-type MA", foi concebido para leitura dos aparelhos Carlson e para outras utilizações. Os circuitos internos foram concebidos de forma a eliminar as resistências de contacto dos comutadores de circuitos de medida. As ligações são feitas por intermédio de fios de cobre de grande secção para diminuir a resistência interna. As leituras são feitas por ajustamento dos botões de resistência até que não se veja mover a agulha do galvanómetro quando se carrega num comutador apropriado. A manutenção, em geral, resume-se a mudar as pilhas quando as deslocações da agulha do galvanómetro se tornam fracas e a uma limpeza periódica dos contactos das décadas das resistências com parafina.

O conjunto está introduzido numa sólida caixa de madeira com um fecho forte e uma pega. O tipo MA é standard para leitura da aparelhagem Carlson. O esquema das ligações internas pode ver-se na fig. XII-3. No Painel existem quatro décadas (1,2,3,4) com fixadores de esfera, um galvanómetro de agulha (5) com o travão (CLAMP.) e botão de ajustamento da agulha, quatro terminais de ligação ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) e três comutadores de botão ( $S_1, S_2, S_3$ ). Se um aparelho Carlson tem quatro condutores, todas as leituras podem ser feitas sem alterar as ligações ao aparelho de medida.

O aparelho lê resistências de  $0,01 \Omega$  até  $109,99 \Omega$  e relações de resistências de  $0,0001$  até  $1,0999$ .

Vamos indicar detalhadamente a maneira de operar e a justificação das leituras efectuadas a partir dos esquemas das ligações efectuadas em cada caso:

2 - OPERAÇÕES DE LEITURA

Para efectuar qualquer leitura com a aparelhagem Carlson deve actuar-se da seguinte maneira:

a) Ligar os condutores da seguinte maneira:

preto (P) no botão ( $T_1$ ),  
verde (V) no botão ( $T_2$ ),  
branco (B) no botão ( $T_3$ ),  
encarnado (E) no botão ( $T_4$ ),

tal como se indica na fig. XII-4.

b) Destruar o galvanómetro actuando no botão (CLAMP.). Tomar o cuidado de travar o galvanómetro quando do transporte do aparelho de medida.

c) Acertar o zero do galvanómetro, actuando no respectivo botão.

Como já vimos atrás, quando se referiu a medição das temperaturas, estas ligações permitem também a medição da resistência total.

Para medir a relação das resistências procede-se como segue:

a) Pôr o botão (A) em 10 e o (B) em 0.

b) Premindo intermitentemente o botão ( $S_1$ ) fazer parar a agulha do galvanómetro manejando os botões (A, B, C e D).

Note-se que o botão (A), em regra, só deve ser colocado nas divisões 9 e 10 pois, de contrário, a agulha do galvanómetro é violentamente lançada para o fim da escala com o perigo de se danificar o aparelho.

c) A leitura é dada pelos algarismos que nos botões ficam em frente dos índices, dando:

(A) de 0,1 a 1,0  
(B) de 0,01 a 0,1  
(C) de 0,001 a 0,01  
(D) de 0,0001 a 0,001

Assim se os algarismos forem, respectivamente:

- (A)- 10
- (B)- 2
- (C)- 8
- (D)- 7 a leitura será 1,0287.

Se forem

- (A)- 9
- (B)- 2
- (C)- 8
- (D)- 7 a leitura será 0,9287 .

As ligações internas que se estabelecem ao ligar qualquer aparelho Carlson ao aparelho de medida estão indicadas na. fig. XII-4 . Como se deduz desta figura, a relação (r) das resistências ( $R_1$ ) e ( $R_2$ ) será dada por :

$$r = \frac{R_1 + r_b}{R_2 + r_p} = \frac{r_x}{100}$$

O valor de (r) medido será igual à relação  $\frac{R_1}{R_2}$  com um certo erro pois o que se mede é :

$$\frac{R_1 + r_b}{R_2 + r_p} \approx \frac{R_1}{R_2}$$

Vamos ver quais os valores que deverão ter ( $r_b$ ) e ( $r_p$ ) para que a relação medida difira de  $\frac{R_1}{R_2}$  de um valor igual a 0,0001, ou seja, uma unidade da década(D). Seja então:

$$\frac{R_1}{R_2} = C$$

e, por ser  $r_b = r_p$ , vem

$$\frac{R_1 + x}{R_2 + x} = C \pm 0,0001$$

donde

$$x = \frac{\mp 0,0001 R_2}{C - 0,9999 - 1,0001}$$

A solução a adoptar será sempre a que dê para (x) um valor positivo. Por outro lado, interessa-nos o menor valor de (x) que, para as constantes mais desfavoráveis dos aparelhos conduza à diferença indicada.

Por exemplo, para um dos extensómetros de Caniçada em que

$$R_1 + R_2 = 70,96 \quad (\text{a } 15^\circ\text{C})$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 1,020$$

donde

$$R_1 = 35,83 \Omega$$

$$R_2 = 35,13 \Omega$$

vem

$$x = \frac{\mp 0,0001 \times 35,13}{1,020 - 0,9999 - 1,0001} = \mp 0,17 \Omega$$

Era necessário ter condutores de ligação com comprimento tal que

$$r_p = r_b \approx 0,17 \Omega$$

para que a relação

$$\frac{R_1 + r_b}{R_2 + r_p}$$

diferisse de 0,0001 da relação  $\frac{R_1}{R_2}$ .

Ora, no Cabril mediu-se a resistência dos condutores de ligação tendo-se encontrado 0,034  $\Omega$  para 25 m de condutor. Como é muito raro que o comprimento do cabo exceda os 50 m pode dizer-se que a relação

$$\frac{R_1 + r_b}{R_2 + r_p} = \frac{R_1}{R_2}$$

é válida até às décimas milésimas.

CAP. XIII - MEDIÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE  
EM LABORATÓRIO

1 - INTRODUÇÃO

Sendo o betão um material de módulo de elasticidade elevado, re quer extensómetros capazes de medirem muito pequenas deformações, o que implica grande delicadeza da aparelhagem utilizada e também um estudo cuidadoso dos seus sistemas de montagem.

Vamos referir alguns aparelhos mais utilizados no Serviço de Bar ragens do Laboratório Nacional de Engenharia Civil na determinação do módulo de elasticidade em provetes de betão. Nestas medições os ex - tensómetros utilizados são do tipo mecânico.

As características que definem a natureza dos resultados suscep tíveis de com elas se obter, são o erro de leitura, sensibilidade, fi delidade e precisão.

Por erro de leitura entende-se o limite superior do erro que se comete ao fazer a leitura e que resulta do erro de paralaxe e do erro que o observador comete ao estimar fracções da menor divisão da escala do aparelho.

O erro de paralaxe é praticamente anulável, pondo por exemplo um espelho por trás do ponteiro indicador e tendo o cuidado de executar a leitura de forma a que o referido ponteiro encubra a sua imagem.

Sendo assim o erro reduzir-se-á apenas à segunda hipótese, e não excederá normalmente  $1/10$  do valor da menor divisão. Para que este grau de aproximação seja consecutível, torna-se no entanto necessá - rio, que a largura do ponteiro seja menor que  $1/20$  da largura da menor divisão da escala, largura esta que não deve ser inferior a 1 ou a 2 mm.

Por sensibilidade dum aparelho dever-se-á entender a menor variação de comprimento que ele é capaz de detectar.

A sensibilidade não poderá portanto ser inferior ao erro de leitura.

Por fidelidade entende-se o erro de que vem eivada a média das leituras de sucessivas aplicações do aparelho a uma mesma grandeza.

Por precisão entender-se-á o erro de que vem eivado o próprio valor da grandeza medida pelo aparelho.

Compreende-se bem, em face destas duas últimas definições, que a precisão seja dada pela composição do erro de fidelidade e do erro de aferição.

O erro de aferição é normalmente muito pequeno em relação ao erro de fidelidade. A fidelidade e precisão podem referir-se quer à variação de comprimento, fidelidade e precisão absolutas, quer ao coeficiente da variação de comprimento pela base da medida, fidelidade e precisão relativas.

Tem interesse referir, além das características anteriores, o "coeficiente de ampliação" o qual se define como a relação entre a distância percorrida pela agulha indicadora e a correspondente variação de distância das pontas do aparelho, e ainda a "constante do aparelho" que se define pela variação de comprimento correspondente à menor divisão da escala.

## 2 - EXTENSÓMETROS HUGGENBERGER

Estes extensómetros são essencialmente constituídos por duas pontas, uma fixa e outra móvel, sendo os movimentos destas transmitidos à agulha indicadora por meio dum sistema de alavancas como se pode ver na fig. XIII-1.

## 2.1 - Tipos de extensômetros

Os diferentes tipos de extensômetros Huggenberger são obtidos apenas por variação do braço de alavanca, de forma a permitir obter diferentes ordens de grandeza do coeficiente de ampliação (fig. XIII-2 ).

Extensômetros	Valores aproximados	
	Coef.de ampliação	Constante $\mu$ /div.
Tipos F e Fx.....	2 000	0,5
Tipos A e Ax.....	1 200	0,8
Tipos B,D e E ....	1 000	1,0
Tipos C .....	300	3,3

Os extensômetros dos tipos (Ax) e (Fx) apenas diferem dos tipos (A) e (F) pela possibilidade de variação das suas bases de medida por meio dum parafuso.

Os extensômetros dos tipos (D) e (E) são em tudo semelhantes aos do tipo (F) mas têm a ampliação igual aos do tipo (B) .

O tipo de articulação destes extensômetros é de "pivot" ou de cutelo. As bases de medida são muito variáveis. Os dos tipos (A,B, C,D e E) têm de base de medida 2 cm, tendo no entanto nos do tipo (A) a possibilidade de obter uma base de medida de 1 cm por inversão da ponta fixa. Os de tipo (F) têm 1 cm de base de medida. Podemos no entanto aumentar as bases de medida por meio de alongas, sendo corrente o uso de alongas que permitem uma distância entre pontas de 10 e 20 cm.

O grau de precisão destes aparelhos varia com o seu tipo. Va



mos no entanto referir as características do extensómetro do tipo(B) por ser este um dos mais empregados. A sensibilidade é de 0,1 de divisão e a precisão de 0,2 de divisão, o que, em unidades de comprimento, dá uma sensibilidade de  $\frac{0,1}{1\ 000}$  mm = 0,1  $\mu$  e uma precisão de

$$\frac{0,2}{1\ 000} \text{ mm} = 0,2 \mu .$$

Para precisão relativa ter-se-á (para a base de medida de 2 cm)

$$\frac{0,2}{2 \times 10^4} = 10^{-5}. \text{ O campo de medida destes aparelhos é de 40 divisões ou seja de } 40 \mu , \text{ o que dá uma extensão máxima de } \frac{40}{2 \times 10^4} = 2.10^{-3}.$$

O aparelho permite no entanto, uma vez percorrida toda a escala, fazer regressar o ponteiro ao início desta.

A aferição destes aparelhos dever-se-á fazer com grande frequência (fig.XIII-3), dado que, ao ensaiarmos, sobretudo, materiais de módulo de elasticidade elevado e espécimes de superfície rugosa, o desgaste provocado nas pontas do aparelho é susceptível de alterar o valor da sua constante. Na fig.XIII-3 vê-se um extensómetro Huggenberger montado num banco de aferição por blocos de calibre.

## 2.2 - Técnica de utilização

Dada a pequeníssima ordem de grandeza das deformações a medir, a técnica de utilização é bastante delicada e necessário se torna uma certa especialização para que destes aparelhos se consiga o máximo grau de precisão. Vamos enunciar os cuidados a ter com a utilização destes aparelhos, os quais nos dão também uma noção das possíveis causas de erro.

a) Deve-se proceder à aferição do aparelho com a frequência necessária para que estejamos absolutamente certos do valor da constante a utilizar.

b) Deve-se proceder à verificação das pontas com uma lupa e, no

caso de se verificar que estão danificadas, mandar afiá-las e proceder a nova aferição do aparelho.

c) Limpar a superfície da peça onde vai ser aplicado o extensómetro.

d) Colocar os extensómetros de forma a que o plano por eles de finido seja normal à superfície da peça a ensaiar.

e) O aperto a dar aos extensómetros em relação à peça deve ser tal que a montagem fique perfeitamente estável, tendo no entanto o cuidado de o não fazer de forma a danificar os cutelos.

f) Verificação da estabilidade da agulha.

Depois de instalado o extensómetro, dando com um lápis pancadinhas leves no aparelho, verifica-se se a agulha não se desloca.

Ainda para o mesmo fim dever-se-ão aplicar cargas que nos per mitem constatar se a agulha reage prontamente e se uma vez descarregada a agulha volta ao zero.

Além dos cuidados que acabamos de enumerar, há que determinar a influência que as variações de temperatura podem ter sobre as me didas fornecidas pelos extensómetros. Há dois processos de defesa desta influência. O primeiro consiste em construir o aparelho com materiais tais que a influência da temperatura seja anulada. O segundo processo consiste em montarmos numa barra de invar um extensómetro que funcionará como corrector.

### 2.3 - Sistemas de montagens

Na determinação do módulo de elasticidade de prismas e cilindros, com estes aparelhos, usaram-se acessórios, concebidos no Serviço de Barragens do L.N.E.C., essencialmente constituídos por duas barras, com um parafuso colocado a meio de cada uma e na extremida

de das quais existia uma peça na qual encaixava a alonga do extensómetro. Estas barras eram denteadas nas extremidades, para que, de harmonia com o tamanho dos provetes, fosse possível regular a posição em que deveriam vir a prender outras duas, colocadas transversalmente em relação a estas e por meio das quais se regulava o aperto a dar aos aparelhos para se obter uma boa fixação.

Estas duas últimas hastes tinham uma das extremidades roscada na qual trabalhava uma peça de aperto e a outra extremidade era constituída por uma pequena garra a qual encaixava nos dentes abertos nas primeiras barras referidas. A fig XIII-4 mostra a forma de cada uma das peças.

### 3 - DEFLECTÓMETRO STOPPANI

#### 3.1 - Princípio de funcionamento e características

O deflectómetro é um aparelho que amplia e transforma um movimento rectilíneo imposto a uma haste em movimento circular dum ponteiro em frente dum mostrador (fig XIII-5). Esta transformação e ampliação de movimento é feita por rodas dentadas ligadas ao ponteiro e que são actuadas por uma cremalheira que segue o movimento da haste.

Tanto o movimento das rodas dentadas como o da cremalheira são contrariados por molas de pequena força com o fim de evitar laqueios nas engrenagens. O deflectómetro Stoppani tem um campo de medida de 5,0 mm e uma constante de 0,001 mm por divisão. É por isso um deflectómetro de milésimos.

#### 3.2 - Sistema de montagem

O sistema de montagem utilizado (figs. XIII-6 e 7) para a determinação do módulo de elasticidade em prismas, com o deflectó-

metro de milésimos Stoppani, é essencialmente constituído por duas peças quadradas nas quais, no meio de 2 dos seus lados opostos estão colocados 2 parafusos que permitem fazer a sua fixação ao provete. Uma das referidas peças é colocada inferiormente e a ela está fixada uma peça em Y à qual se fixa o deflectómetro. A outra peça está colocada superiormente e a ela está fixada uma haste em L, na parte inferior da qual está colocado um parafuso, cuja cabeça constitui a base onde assenta a ponta do deflectómetro. Do lado oposto àquele em que funciona o deflectómetro, estão presos às referidas peças quadradas 2 parafusos de cabeça escavada no centro, e que servem para fixar uma pequena barra arredondada de pontas aceradas que vai constituir o fulcro do sistema.

Para que a fixação desta barra aos parafusos seja assegurada, está ainda colocada do seu lado e presa às duas peças quadradas, uma mola cuja fixação a uma das peças é feita directamente, e à outra por meio duma pequena corrente.

Focámos neste caso o acessório utilizado para ensaios de prismas, sendo constituídos de forma semelhante os acessórios para ensaio de provetes com forma cilíndrica.

Como facilmente se depreende, pela descrição anterior, ao ser o provete carregado o sistema roda em torno da haste que funciona como fulcro, sendo a deformação dada pelo deflectómetro o dobro da deformação realmente sofrida pelo prisma, visto estarem os referidos parafusos que fixam o sistema ao provete colocados a meio das duas peças quadradas. A sensibilidade é de 0,1 de divisão e a precisão é de  $\pm 1$  divisão, e, como o aparelho tem uma ampliação dupla resulta que a sensibilidade é de  $S = \frac{0,1}{2\ 000}$  mm = 0,05  $\mu$  e a precisão  $p = \frac{1}{2\ 000}$  mm = 0,5  $\mu$ . O valor de precisão relativa, sendo a base de medida adopta

da de 30 cm, será assim :

$$P_r = \frac{0,5}{30 \times 10^4} = 1,66 \times 10^{-6}$$

#### 4 - ALONGÂMETRO DE MILÉSIMOS

##### 4.1 - Princípio de funcionamento e características

Na fig.XIII-8 pode ver-se este aparelho. Por ele se vê que é essencialmente constituído por duas barras laterais em U, duas barras mais pequenas em I, sendo uma delas suporte dum sistema de montagem, um parafuso de afinação, parafuso este sobre o qual assenta a ponta dum deflectómetro, e a outra suporte dum deflectómetro de milésimos, o qual no caso da fig.XIII-8 , é um deflectómetro Stoppani. Tem ainda duas pontas, que permitem assentá-lo sobre as bases de medida, e oito lâminas de ligação das barras anteriormente referidas, cuja flexibilidade permite a deformabilidade do aparelho.

Deve este aparelho a sua grande utilidade à grande facilidade de instalação para leitura, e ainda à possibilidade de fazermos várias observações quase simultâneas com um grau de precisão praticamente igual ao dos extensómetros. O grau de precisão médio deste aparelho é da ordem de  $5,0 \times 10^{-6}$ .

##### 4.2 - Técnica de utilização

Vamos passar a expor alguns cuidados a ter na utilização deste alongâmetro quando o utilizamos em ensaios de betão em laboratório.

a) Instalação das bases de medida - As bases de medida são constituídas por duas pequenas bolachas de aço macio que se apresentam na fig.XIII-9 , sendo estas bolachas coladas à peça a observar com uma cola bastante aderente, a qual, em laboratório, poderá ser uma cola

celulósica.

Para definição da base de medida, começar-se-á por colar uma das bolachas, e logo que esta esteja suficientemente fixada, cola-se a outra, ajustando a distância da base de medida com uma córcea metálica provida de duas pontas com calotes esféricas, a qual faz parte dos acessórios do aparelho.

b) Utilização de bases compensadoras - É indispensável a utilização de bases compensadoras. Assim ao proceder-se ao ensaio dum prisma de betão, convém que se disponha de um prisma idêntico colocado perto da máquina de ensaio e de modo que as leituras sejam feitas na peça a observar e na compensadora em posições correspondentes.

Insiste-se em que é necessário que as leituras nas bases compensadoras sejam feitas em posições correspondentes às leituras nas bases em observação. A base compensadora deve situar-se o mais perto possível da base de medida e se estas estiverem muito separadas é preferível dispôr de várias bases compensadoras a ter que as deslocar durante as observações.

c) Técnica de leitura - Para que se possam obter resultados com um grau de precisão de  $5 \times 10^{-6}$ , que se atribui a este aparelho, necessário se torna ter em atenção os seguintes factores:

Transporte e manejo - O transporte do alongâmetro, só deverá fazer-se dentro do seu estojo. Dever-se-ão evitar todos os choques ou tratamentos bruscos e sempre que se pressinta que tal se deu, dever-se-á fazer nova leitura sobre a base compensadora para verificar se se produziu qualquer perturbação no aparelho.

Limpeza das bases - Antes de se efectuar qualquer leitura as bases deverão ser limpas da camada de vaselina que deverá protegê-las.

Após cada período de leituras, as bases deverão ser de novo pro-

tegidas com nova camada de vaselina.

Leituras das bases - O alongâmetro deve ser mantido pelos dedos indicador e polegar, que devem agarrar na parte mais larga da pega em baquelite e de modo que o esforço que se aplique seja centrado no eixo da barra central.

Suspenso assim o aparelho, apoiam-se as suas pontas com entalhes em forma de calote esférica sobre as esferas das bases, devendo-se oscilar lateralmente um pouco o aparelho de modo a que a agulha do deflectómetro estabilize.

Nesta fase, o observador deve procurar não aplicar qualquer esforço longitudinal ao aparelho e limita-se a garantir um perfeito contacto entre as pontas e as bases.

Leituras inversas e seu registo - A leitura dum dada base deverá ser fixada mentalmente pelo observador que procederá imediatamente à leitura da mesma base mas colocado o aparelho na posição inversa.

A leitura que deverá considerar será a média das duas leituras.

Leituras das bases compensadoras - Conforme o número e posição das bases da estrutura em observação assim devem ser estabelecidas as bases compensadoras. Tem-se assim que cada conjunto de bases de medida deverá ser comparado com a sua compensadora. A leitura de cada conjunto deverá sempre iniciar-se pela leitura da base compensadora seguida imediatamente da leitura de todas as bases desse conjunto. A seguir dever-se-á repetir a leitura da base compensadora.

d) Cálculo das deformações e extensões - As deformações sofridas por qualquer base de medida são obtidas directamente por diferença das leituras correspondentes do deflectómetro de milésimos, depois de se ter afectado essas leituras das respectivas correc -

ções da base compensadora.

Para determinação de extensões, há que dividir as deformações medidas pelo comprimento da base de medida, que é de  $4 \times 10^5 \mu$ .

Assim se forem  $(L_1)$  e  $(L_2)$  as leituras efectuadas com o alongâmetro numa base de medida de uma peça em ensaio,  $(l_1)$  e  $(l_2)$  as correspondentes leituras das bases compensadoras, tem-se que a deformação  $(\Delta l)$  se determina pela expressão :

$$\Delta l = (L_1 - L_2) - (l_1 - l_2)$$

e a extensão correspondente será:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{4 \times 10^5} = \left[ (L_1 - L_2) - (l_1 - l_2) \right] \times 2,5 \times 10^{-6}$$



## CAP. XIV - MEDIÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BETÃO "IN SITU"

### 1 - GENERALIDADES

#### 1.1 - Objectivo dos ensaios

O soniscópio é um aparelho concebido pela Hydro-Electric Power Commission of Ontario e construído pela Mc Phar Engineering Company of Canada para análise local do betão das barragens. Os ensaios, que são do tipo não destrutivo, têm como objectivo:

- 1) a determinação da qualidade ou estado de conservação do betão,
- 2) a exploração dum estado de fissuração nele corrente,
- 3) a execução de estudos do betão a longo prazo.

Embora o aparelho tivesse sido desenvolvido, primariamente, para betões em obra, ele é aplicável, ainda, a outros materiais e em laboratório.

#### 1.2 - Fundamentos teóricos

O aparelho funciona à base de ultra-sons, que ele emite e capta depois de atravessarem o betão; como dado imediato de ensaio, obtem-se o respectivo tempo de propagação, medido electrónicamente. A velocidade de propagação, calculada a partir desse tempo, é uma característica do material, sendo ainda possível calcular, a partir desta e por uma simples fórmula, o módulo de elasticidade (dinâmico) do betão.

Os ultra-sons (que, como o nome indica, são vibrações com uma frequência superior à dos sons) podem propagar-se num meio elástico ilimitado sob três formas - ondas longitudinais ou de compressão, transversais ou de corte e de superfície ou de Rayleigh - conforme a direcção do movimento vibratório transmitido às partículas materiais desse meio (fig. XIV-1 ).

Em condições normais, estas três ondas têm origem e propagam-se si multâneamente, não sendo fácil a sua identificação. Todavia, como a onda longitudinal é a que tem maior velocidade de propagação, isto é, a primeira que chega ao receptor, é esta a utilizada nas aplicações práticas. Em determinadas circunstâncias, podem ser observadas no receptor as outras on das e medidas as suas velocidades.

As características elásticas (dinâmicas) dum material podem determinar-se a partir das velocidades de propagação das ondas longitudinal e trans versal ( $V_L$  e  $V_T$ ) pelas expressões:

$$V_L^2 = \frac{E}{\mu} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$V_T^2 = \frac{E}{\mu} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)} = \frac{G}{\mu}$$

$$\left(\frac{V_L}{V_T}\right)^2 = 2 \cdot \frac{1-\nu}{1-2\nu}$$

em que é

E - o módulo de elasticidade longitudinal,

G - o módulo de elasticidade transversal,

$\nu$  - o coeficiente de Poisson,

$\mu$  - a massa específica ( $\mu = \frac{\rho}{g}$ ).

Em ensaios correntes, dada a dificuldade de reconhecimento da onda transversal e a pequena variabilidade do coeficiente de Poisson, supõe-se este já conhecido (para o betão,  $\nu = 0,22$ ) e apenas se trabalha com a primeira expressão que, assim, pode ser traduzida em tabelas ou diagramas.

Através do efeito piezo-eléctrico, o soniscópio transforma impulsos eléctricos em vibrações mecânicas, de frequência 20 kc/s, a um ritmo aproximado de 80 emissões por segundo. Pode verificar-se que àquela frequência corresponde um período de 50  $\mu$ s e, em betões razoáveis, um comprimento de onda da ordem dos 20 cm.

A escolha daquela frequência obedece a um compromisso entre duas ten dências opostas. Com efeito, quanto maiores forem os inertes do betão tan

to maior deverá ser o comprimento de onda a utilizar, para evitar a dispersão e absorção da energia de que os ultra-sons são portadores e, portanto, a diminuição do seu poder de penetração; por outro lado, quanto menor for o comprimento de onda tanto mais direccional será a propagação, isto é, tanto menor será a abertura do cone de energia.

### 1.3 - Limitações do método

O limite superior do campo de medida do aparelho é de 5 000  $\mu$ s, correspondendo este valor a uma espessura aproximada de 15 m em betões da baragem correntes. No caso de betões de muito boa qualidade, aquele valor poderá aumentar até 50%.

Em trabalhos de laboratório, a relação entre as dimensões máxima e mínima dos provetes não deve exceder 5:1, para evitar interferências das ondas reflectidas nas faces laterais dos provetes, que dificultariam a observação da onda principal. A espessura mínima a analisar depende da precisão exigida ao ensaio, o que se compreenderá facilmente mais adiante; todavia, pode indicar-se o valor de 10 cm como correspondendo já a razoáveis condições de precisão.

## 2 - O APARELHO

### 2.1 - Descrição

À vista, o sonoscópio é constituído por três partes (fig. XIV-2 ):

- unidade de comando e medida
- transdutor ("transducer") de emissão
- transdutor de recepção

Os transdutores são ligados à unidade de comando por cabos coaxiais (de baixa impedância), amovíveis, correspondendo o de maior diâmetro ao transdutor de emissão.

A parte principal dos transdutores é o cristal piezo-eléctrico, no caso do soniscópio um empilhamento de cristais de sal de Rochelle, que se encontra alojado num receptáculo metálico, coberto com uma membrana de borracha e cheio de óleo de rícino. Do transdutor de recepção faz parte, ainda, um pré-amplificador, que funciona com pilhas secas e que é ligado sempre que é premida contra o material a ensaiar a respectiva haste metálica.

É na unidade de comando que se encontram todos os circuitos electrónicos do aparelho, de que os transdutores são apenas os extremos, respectivamente de saída e entrada. A enumeração e descrição funcional desses circuitos é feita mais adiante, mas não é essencial o seu conhecimento para operar com o aparelho. Todavia, não pode o operador deixar de ter uma ideia geral, embora simplificada, do seu funcionamento.

O princípio em que assenta o método de ensaio com ultra-sons dá uma indicação imediata dos circuitos básicos de qualquer aparelho para esse fim. Assim, terá de haver um circuito emissor, um circuito receptor e um outro circuito que meça o tempo decorrido entre a emissão e a recepção dos ultra-sons.

Para tornar visíveis os sinais correspondentes à emissão e recepção das ondas, existe um osciloscópio, colocado ao centro da unidade de comando. Quando o aparelho está ligado, o seu "écran" é varrido periódica e simultâneamente, na direcção horizontal, por dois feixes de electrões. Os dois traços que aparecem, e que parecem existir permanentemente por efeito da persistência das imagens na retina e na emulsão do "écran", correspondem a autênticos eixos de abcissas, graduados em unidades de tempo. A velocidade de varrimento pode ser modificada, daí resultando o desdobramento do campo de medida do aparelho em três escalões.

Se, em determinado instante, no circuito emissor tiver origem uma emissão de ondas, nesse mesmo instante aparecerá no traço superior do osciloscópio um sinal positivo representativo dessa emissão.

Depois de atravessar o material a analisar, as ondas penetrarão no seu circuito receptor e aparecerão figuradas no traço inferior do osciloscópio.

Como há correspondência entre pontos dos traços superior e inferior situados na mesma vertical, o intervalo de tempo que existe entre a emissão e a recepção das ondas será figurado pela distância entre os respectivos sinais. A medição desse tempo será feita pelo respectivo circuito, através de um sinal negativo existente no traço superior, que se fará deslocar entre os sinais correspondentes à emissão e recepção das ondas.

Todos os circuitos do soniscópio são comandados por um "multivibrador", cuja regularidade de funcionamento é garantida por um oscilador de cristal de quartzo (100 kc/s), que serve também de aferidor da escala de tempos, como se verá.

Entrando na descrição dos órgãos de comando do aparelho, põe-se desde já de sobreaviso o operador de que o soniscópio funciona exclusivamente sob tensão alterna de 110 V.

Na fig.XIV-3 apresenta-se o alçado principal da unidade de comando e medida. Vejamos as funções de cada um dos respectivos botões.

(1) e (2) - Regulação da nitidez da imagem do osciloscópio, dos pontos de vista respectivamente de focagens e intensidade. Os traços devem apresentar-se finos e de contornos bem definidos; quanto à intensidade luminosa, deve usar-se a mínima compatível com a luz ambiente, não havendo outra limitação que não seja a duração do osciloscópio, tanto menor quanto mais se abusar da grande luminosidade de imagem.

(3) Interruptor - Tem duas posições, correspondentes ao aparelho estar ou não ligado, acendendo-se uma luz vermelha na parte inferior do painel no primeiro caso.

(4) Regulação da potência de saída do emissor, com cinco posições possíveis.

(5) e (6) - Comandos dos circuitos de medição de tempo. Serão objecto de especial análise.

(7) - Ajustamento do "zero" do aparelho (ver-se-á nas instruções de operação a sua função).

(8) - Regulação da "sensibilidade" do receptor, com sete posições possíveis. Existe, ainda, uma outra posição ('calibration'), para aferição das escalas de tempos.

Na parte posterior do painel estão localizados os fusíveis de protecção do aparelho e a tomada de corrente.

A medição do tempo de propagação, como se disse, envolve a manipulação de dois botões. O inferior, quando colocado nas três posições ímpares, indica o escalão do campo de medida do aparelho, em microsegundos, em que se está a observar toda a imagem (0-200, 0-1000 e 0-5000  $\mu$ s).

O escalão a adoptar num ensaio é função da espessura de betão a analisar. Os valores adiante indicados, em quadro, foram calculados para um betão de inferior qualidade; em bons betões, os limites indicados podem aumentar até 50%. Aliás, a observação da própria imagem indicará qual o escalão mais conveniente.

Quando se coloca o mesmo botão (6) nas posições pares, aparece, ocupando toda a largura do osciloscópio, apenas uma parte da imagem que se estava a observar e que, assim, é ampliada na direcção horizontal, o que permite a sua mais detalhada observação. Exempli-

ficando com as posições 5 e 6, os números 5 000 e 500 significam que, estando-se a trabalhar no escalão 0 - 5 000  $\mu$ s, a imagem terá uma extensão correspondente a 5 000  $\mu$ s e que, dentro desse escalão e ocupando a mesma extensão, se podem analisar fracções dessa imagem correspondentes a 500  $\mu$ s.

O botão superior é de movimento contínuo, tem 100 divisões e faz avançar, por cada rotação, a escala anelar com ele concêntrica de uma divisão. Isto quer dizer que, qualquer que seja o escalão de medida, o aparelho tem uma amplitude de 1 000 divisões. Portanto, no escalão intermédio, o tempo de propagação em microsegundos é expresso pelo mesmo número que a leitura em divisões, sendo necessária nos outros escalões dividi-la ou multiplicá-la por 5.

Posições do botão(6)	$\mu$ s			Máximo de betão a observar (m)
	Campo de medida	Valor de 1 div.	Troço de imagem ampliada	
1	0-200	0,2	-	0,6
2			50	
3	0-1000	1	-	3
4			100	
5	0-5000	5	-	15
6			500	

O sinal móvel da imagem desloca-se de acordo com o botão (5), sendo necessário que o botão (6) esteja nas posições ímpares. Quando numa posição par, o sinal apresenta-se imóvel no centro do osciloscópio, passando então a deslocar-se a parte restante da imagem.

2.2 - Operação

a) Fazer a ligação à corrente, tendo o cuidado prévio de verificar a tensão respectiva (não esquecer: 110 V, 50 ciclos); em face das tensões de serviço usuais, terá de se utilizar um transformador. Ligar os transdutores à unidade de comando, tendo o cuidado de, em relação ao de emissão, não o fazer com o aparelho aceso, sob pena dum choque de 800 V.

b) Accionando o interruptor, verificar que a luz vermelha acendeu. Três minutos após, o aparelho estará apto a funcionar, ouvindo-se primeiramente um ruído característico no emissor, seguido do aparecimento da imagem no osciloscópio (fig.XIV-4(a)). Fazer a respectiva regulação (botões (1) e (2)).

c) Verificar se o "zero" do aparelho está correcto, isto é, se o sinal móvel da imagem coincide com o sinal representativo da emissão quando o botão (5) está na divisão zero (qualquer que seja o escalão do campo de medida). No caso negativo, proceder ao ajustamento do zero, actuando no botão (7), até se conseguir a condição atrás enunciada (fig.XIV-4(b)). Antes da operação, libertar o botão, rodando o anel serrilhado no sentido contrário aos ponteiros do relógio; depois dela feita, fixar o botão.

d) Verificar se a escala do tempo está calibrada. Para isso, rodar o botão (8) para a posição "cal.", o que ligará directamente os circuitos do receptor e do oscilador, aparecendo no traço inferior da imagem a onda emitida pelo cristal de quartzo, cuja frequência e período são exactamente 100 kc/s e 10  $\mu$ s (fig.XIV-4(c)). Rodando o botão (5) dum número inteiro de divisões, verificar se tal leitura tem correspondência na imagem, contando o número de ondas que passam pelo sinal móvel, qualquer que seja a posição do botão (6). Se



não se verificar essa correspondência, há possibilidade de restabelece-la, actuando internamente, o que já não deve ser feito pelo operador.

e) Determinar a "correção de tempo", se não fôr conhecido o seu valor. Esta correção corresponde ao tempo necessário para os ultra-sons percorrerem a distância entre os cristais dos transdutores e a superfície externa das membranas de borracha.

O seu valor, inferior a 50  $\mu$ s, varia com o estado de enchimento daqueles dois órgãos e com a pressão com que são aplicados ao betão.

Em rigor, o tempo de propagação das ondas no material só se obtém depois de subtrair esta correção ao tempo medido. É evidente que a não consideração deste facto tem tanto maior importância quanto menor for o tempo medido, isto é, a espessura analisada.

Para determinar a correção de tempo, basta aplicar os transdutores um contra o outro, interpondo entre eles uma placa metálica fina, e medir o tempo de propagação. Nesta operação, os botões (4) e (8), especialmente o primeiro, devem estar na posição 1, sob pena de danificação dos cristais.

Também deve aproveitar-se esta operação, em que as ondas recebidas aparecem sem amortecimento algum e perfeitamente definidas, para conhecer o sinal da primeira das ondas emitidas, isto é, se ela é para cima ou para baixo, sinal que será constante enquanto se mantiver o mesmo conjunto de transdutores.

Ao efectuar os ensaios, o conhecimento desse sinal facilitará a pesquisa da frente de onda (início da primeira onda), ponto a que tem de se levar o sinal móvel para medir os tempos de propagação e de cuja exacta determinação, portanto, depende grandemente a preci. -

são com que são obtidos (fig. XIV-4(d)).

### 2.3 - Manutenção

Além dos cuidados gerais de manuseamento inerentes a um aparelho de precisão, o soniscópio pouco mais exige.

a) Quanto à unidade de comando:

- fora dos períodos de utilização, manter o osciloscópio protegido pela tampa metálica;

- lubrificar de acordo com o uso dado ao aparelho, o motor da ventoinha de arrefecimento, utilizando um óleo nº. 20 S A E ou equivalente; a ventoinha entra automaticamente em funcionamento quando a temperatura do aparelho atinge 45°C.

b) Quanto aos transdutores, em face da fragilidade dos cristais, devem evitar-se as pancadas, os choques, as vibrações e as perfurações das membranas. Todavia, estas últimas acabam por romper com o uso, sendo necessário proceder à sua substituição, de acordo com a técnica seguinte:

- retirar o anel que prende a membrana;

- mantendo o transdutor na posição vertical, encher completa e lentamente com óleo de rícino a cavidade onde está o cristal;

- colocar a nova membrana, fazendo-a deslizar sobre a superfície do óleo até à sua correcta posição, por forma a não ficar incluída a menor bolha de ar, e repôr o anel de fixação, sem o apertar totalmente;

- retirar a tampa da válvula do transdutor e, aplicando a bomba do óleo, dar sucessivas bombadas, apertando progressivamente o anel de fixação no fim de cada uma delas; a membrana deverá

ficar com uma convexidade tal que, aplicando firmemente o transdutor contra uma superfície plana, o contacto se faça apenas através dela; remover a bomba e repôr a tampa;

- o óleo de rícino ("castor oil") a utilizar deve ser de elevada pureza e isento de humidade, pois a sua presença danificaria os cristais (ver análise de alguns óleos em "Proc. de Cons. 467/A, 1959", Aquisi - ções);

- para utilizar a bomba, enchê-la de óleo e mantê-la verticalmen- te, com o manípulo para baixo, durante o tempo suficiente para as bo - lhas de ar virem à superfície do óleo; com a torneira fechada, aplicar alguma pressão, só depois a abrindo lentamente, mas fechando-a de novo logo que corra só óleo; depois da utilização, a bomba deve ser guarda- da com a torneira fechada e sem pressão aplicada.

A preocupação com a ausência de ar, que se irá também encontrar mais adiante, resulta do facto dele ser mau suporte para a propaga - ção dos ultra-sons; assim, a sua inclusão no óleo dos cristais conduzi- ria a correcções de tempo aleatoriamente variáveis.

c) Quanto ao transdutor de recepção, em particular, as pilhas se- cas do pré-amplificador (2 de 1,5 V + 1 de 67,5 V) devem ser retiradas quando o aparelho estiver imobilizado durante algum tempo. Para isso (tal como para a sua renovação), desapertar o parafuso sob a pega de madeira (com uma moeda, por exemplo). Ao repôr as pilhas, observar a sua polaridade.

#### Notas

1) para abrir a unidade de comando (lubrificação da ventoinha, limpeza do pó), basta tirar os parafusos exteriores das pegas e fazer deslizar o quadro para fora;

2) em caso de má calibração ou avaria, não tentar reparar o apa -

sição de imagens, o que tornaria a medida confusa.

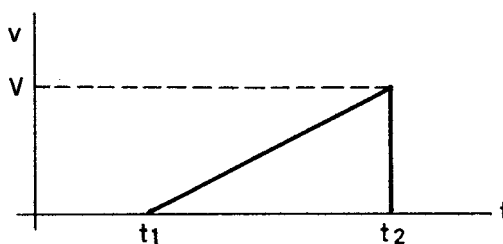
O MULTIVIBRADOR DE COMANDO controla, portanto, as seguintes unidades, cuja função será adiante descrita:

- a) GERADOR DE VARRIMENTO
- b) CIRCUITO DE ATRASO VARIÁVEL
- c) ATRASO FIXO DO IMPULSO DE TRANSMISSÃO

#### 2.4.3 - Gerador de varrimento ('Sweep generator')

Esta unidade gera uma tensão de "dente de serra" que vai actuar a deflexão horizontal dos feixes do osciloscópio. Esta tensão pode ser iniciada directamente pelo MULTIVIBRADOR DE COMANDO ou, indirectamente, pelo CIRCUITO DE ATRASO VARIÁVEL ('expanded positions').

A forma da tensão é a seguinte:



A amplitude instantânea da tensão corresponde à posição horizontal dos feixes do osciloscópio. Como a amplitude máxima ( $V$ ) é sempre a mesma, a largura do varrimento é constante.

A sua duração ( $t_2 - t_1$ ), que corresponde ao tempo de observação, é que varia conforme a posição do comutador (6). Nas posições pares ('expanded positions'), essa duração é pequena, isto é, a observação recai sobre intervalos de tempo curtos, sendo portanto mais detalhada.

Para as diferentes posições do comutador (6), as durações de varrimento são as seguintes:

<u>Posições</u>	<u>Durações efectivas</u> ( $\mu$ s )	<u>Intervalos úteis</u> ( $\mu$ s )
1	240	200
2	60	50
3	1 200	1 000
4	120	100
5	6 000	5 000
6	600	500

Como se disse, o instante de início de varrimento ( $t_1$ ) pode ser controlado directamente pelo MULTIVIBRADOR DE COMANDO (posições ímpares), ou indirectamente pelo CIRCUITO DE ATRASO VARIÁVEL (posições pares).

No primeiro caso, o fenómeno (início da emissão e reflexão) fixa-se no "écran" do osciloscópio, mesmo quando se actua no botão (5), pois mantêm-se as relações de tempo do varrimento e do fenómeno. No segundo caso, o início de varrimento varia em relação ao início do fenómeno, tudo se passando como se se observasse o fenómeno no tempo através de uma "janela" de posição variável ("écran" do osciloscópio).

#### 2.4.4 - Circuito de atraso variável

##### Medição de tempo ("Precision strobe generator")

Esta unidade é controlada pelo MULTIVIBRADOR DE COMANDO. Na sua saída, obtem-se um sinal atrasado em relação ao sinal de entrada, sendo o atraso regulável pelo botão (5). O sinal de saída vai comandar, por um lado, o GERADOR DE VARRIMENTO (quando o botão (6) estiver nas posições pares), por outro lado, o sinal de referência, através da unidade de ATRASO FIXO DO SINAL DE REFERÊNCIA.

A finalidade desta unidade é a medida exacta do tempo de propagação, fazendo deslocar o sinal de referência sobre o osciloscópio, desde o sinal de transmissão até à frente da onda reflectida.

As gamas de atraso são as correspondentes às diferentes posições do comutador.

Nas posições ímpares, essas gamas coincidem com os intervalos úteis de varrimento do GERADOR DE VARRIMENTO, o que significa que o sinal de referência tem então o seu curso sempre limitado às dimensões do "écran" do osciloscópio.

#### 2.4.5 - Atraso fixo do sinal de referência ("Precision delay")

Para que o sinal de transmissão apareça no "écran" do osciloscópio (nas posições ímpares do comutador (6)), é necessário atrasá-lo em relação ao início do varrimento. O sinal de referência necessita então de sofrer o mesmo atraso, a fim de tornar possível a sua coincidência com o sinal de transmissão, quando o botão (5) se encontra na posição zero. A finalidade deste circuito é, precisamente, a obtenção do referido atraso.

Nas posições pares do botão (6), o atraso introduzido é igual a metade do tempo de varrimento, o que implica o aparecimento do sinal de referência no meio do "écran" do osciloscópio.

Posições	Atraso fixo do sinal de ref. ( $\mu$ s)	Varrimento ( $\mu$ s)
1	30	240
2	30	60
3	60	1 200
4	60	120
5	300	6 000
6	300	600

#### 2.4.6 - Atraso fixo do impulso de transmissão ('Pulse position delay')

Como se acabou de explicar, para que o sinal de transmissão apareça sobre o "écran" do osciloscópio é necessário atrasá-lo em relação ao início do varrimento.

É essa a finalidade do presente circuito, o qual, além disso, permite ainda um ajuste fino de zero por intermédio do botão (7).

Os valores dos atrasos introduzidos, a menos do ajustamento fino, são iguais aos introduzidos pelo circuito anterior (30-60-300  $\mu$ s).

#### 2.4.7 - Amplificadores de transmissão e recepção ('Thyratron output e Receiver amplifier')

Funcionalmente, a finalidade destes circuitos é evidente: adaptação do sistema de medida a condições particulares de atenuação dos meios onde se pretende determinar a velocidade de propagação.

Deve, no entanto, observar-se o seguinte:

a) Nunca se utilizam ganhos mais elevados do que o suficiente para se obter uma imagem clara do sinal reflectido.

b) A fim de obter a máxima definição da imagem do sinal reflectido, deve usar-se o ganho do amplificador de recepção na posição 1 e aumentar o ganho de transmissão (botão (4)) conforme as necessidades. Só depois de se esgotar as possibilidades do amplificador de transmissão (botão (4) na pos. 5), se deve aumentar o ganho de recepção (botão (8)). Nestas circunstâncias, obtem-se a melhor relação sinal/ruído.

NOTA: este capítulo foi feito com a colaboração do eng<sup>o</sup>. Luís Vicente da DECA.

### 3 - OS ENSAIOS

#### 3.1 - Preparação

##### a) Barragem

Na observação corrente duma estrutura com o soniscópio, as medi-

ções são feitas, normalmente, através da propagação da onda longitudinal (fig.XIV-6(a)). Todavia em certas circunstâncias, dependentes em parte do nível de ruídos ambientes, será também possível utilizar as ondas transversal (fig.XIV-6(b)) e de superfície (fig.XIV-6(c)).

Nos dois primeiros casos, será possível auscultar espessuras de betão até 15 m. No último, porém, como as ondas se propagam sobretudo no interior do material, não será possível ir além dos 6 m, havendo ainda a desvantagem de apenas poder ser auscultado o betão superficial.

A preparação dos ensaios deve começar por um estudo prévio da obra, em gabinete, para uma primeira selecção das eventuais zonas a analisar, tendo em conta os parâmetros campo de medida do aparelho e comprimento máximo de cabo coaxial que o seu funcionamento comporta, 150 m.

Seguir-se-á um reconhecimento completo da obra, tendo em vista os trajectos dos cabos (explorar os tubos de injeção e de drenagem, que podem ser extremamente úteis), os pontos de alimentação do aparelho, as condições de trabalho do pessoal, os recursos locais, etc.

Ponderados todos estes factores, e feita a escolha definitiva das zonas de ensaio, proceder-se-á à marcação dos pontos de aplicação dos transdutores de tal forma que o trajecto das ondas, necessário à elaboração dos resultados, seja conhecido com um erro inferior a 1%.

Seguir-se-á a preparação desses pontos para a realização dos ensaios, o que envolve apenas o alisamento do betão, bastando limitar o polimento a uma pequena zona, através da qual se fará o contacto com as membranas.

Esse contacto deve fazer-se molhando, previamente, a superfície do betão com água ou óleo (tomando a precaução, neste caso, de usar um que não ataque a borracha). As duas preocupações anunciadas, que têm



em vista a remoção do ar dos poros do material, têm particular importância quando as espessuras a atravessar são grandes.

b) Pessoal - Para a execução dos ensaios é estritamente indispensável dispôr de três pessoas (um operador, para a unidade de comando, e dois ajudantes para os transdutores); todavia, será muito conveniente, para o bom e rápido andamento dos trabalhos, poder dispôr de mais dois ajudantes, tendo em vista a manipulação dos cabos, o serviço telefónico (quando necessário), o transporte do aparelho e acessórios e o cansaço. À excepção do operador, o restante pessoal não carece de preparação especial.

c) Material - O soniscópio é transportado para as obras em embalagem própria, almofadada interiormente, que contém igualmente algum material de eventual utilidade, relacionado em anexo, o qual deve ser revisito antes de cada campanha e ampliado de acordo com a experiência.

Para comodidade dos ensaios e facilidade de deslocação dentro da obra, dispõe-se dum suporte, desmontável, transportável em embalagem própria (fig. XIV-7 ).

Além das duas embalagens referidas, há ainda a considerar a maleta dos telefones e dois carreteis (contendo cada um 150 m de fio de receptor e de fio telefónico), mostrando a fig. XIV-8 todo o conjunto.

### 3.2 - Execução

Feitos todos os preparativos, incluindo os indicados em 2.2, começam-se os ensaios de acordo com a técnica seguinte.

a) Molhando previamente as faces de ensaio, aplicar contra elas os transdutores, com uma pressão que garanta o seu firme contacto com o betão; a amplitude das ondas recebidas depende muito desse contacto.

b) Pôr o botão (6) na posição ímpar correspondente à espessura a observar. Depois, actuar nos botões (4) e (8), começando pelas posições

mais baixas, até aparecer a imagem das ondas recebidas. Ter em atenção que, perto do limite de aplicação do aparelho, se torna muito difícil o seu reconhecimento, por terem uma amplitude pequeníssima, o que provém, por vezes, dum afrouxamento da pressão de contacto.

c) Rodando o botão (5), levar o sinal móvel a coincidir com a frente de onda (início da 1ª. onda, cujo sinal deve corresponder ao prêvia mente verificado). Para mais cuidada determinação deste ponto, rodar o botão (6) para a posição par correspondente ao escalão em que se está a trabalhar e fazer o ajustamento com o botão (5). Ler o tempo medido.

### 3.3 - Elaboração e interpretação dos resultados

O primeiro valor a determinar é o tempo de propagação, obtido sub traíndo ao tempo medido a constante de tempo do soniscópio.

Seguir-se-á o cálculo da velocidade de propagação, por divisão do percurso dos ultra-sons (distância entre os pontos de ensaio) pelo res pectivo tempo de propagação.

$$V_{(m/s)} = \frac{l (m)}{t (\mu s)} \cdot 10^6$$

De acordo com o manual do aparelho, o tempo é medido com uma pre cisão de 2<sup>o</sup>/oo. Julga-se, porém, que essa precisão diminuirá com o aumento da espessura observada, em face da dificuldade de determinação da frente de onda.

De qualquer forma, a precisão com que é determinada a velocidade de propagação será condicionada pela menor precisão com que é determinado o percurso das ondas, a qual não deve ser inferior a 1% (1 cm/m).

a) O julgamento da qualidade ou estado de conservação dum betão pode ser feito apenas com base na velocidade de propagação dos ultra - sons, função do módulo de elasticidade do material. Assim, e como re-

sultado de longa experiência (sobretudo, de origem americana), foi possível elaborar o quadro seguinte.

Velocidade de propagação (m/s)		Qualidade ou Estado de Conservação
Superior	a 4 500	Muito bom
	3 600 a 4 500	Bom, geralmente
	3 000 a 3 600	Duvidoso
	2 100 a 3 000	Mau, geralmente
Inferior	a 2 100	Muito mau

Querendo fazer-se o cálculo do módulo de elasticidade (dinâmico) do betão, deverá então recorrer-se às fórmulas apresentadas em 1.2, a primeira das quais se encontra traduzida em diagrama (fig.XIV-9 ) correspondente a um betão de peso específico  $2,4 \text{ t/m}^3$ .

b) A prospecção de estados de fissuração do betão é uma técnica difícil, sobretudo se as fissuras são várias e localizadas no interior.

Se uma fenda ou um vazio se interpõem no trajecto dos ultra-sons, as ondas difractam-se, contornando a descontinuidade e sofrendo uma considerável perda de amplitude. O tempo de propagação medido será maior e, portanto, ao fazer o cálculo da velocidade de propagação a partir do su posto trajecto rectilíneo, ser-se-á conduzido a um valor anormalmente baixo.

Nas duas consequências da difracção das ondas - maior tempo de pro pagação e menor amplitude - se baseia a exploração das fendas por ultra -sons. Todavia, se estas forem de pequenas dimensões, o consequente a -crécimo de tempo poderá não ser significativo e, então, só a indicação da amplitude subsistirá.

Deve ter-se em atenção, ainda, que as variações da velocidade de propagação e da amplitude também podem ser interpretadas como zonas de betão de má qualidade, sendo então indispensável o conhecimento do passado da estrutura. Geralmente, velocidades inferiores a 3 000 m/s indicam existência de vazios.

No caso de uma única fenda no interior dum maciço de betão, sugerem-se dois processos para a determinação da sua extensão e orientação. Em qualquer deles, bem como na análise de fendas superficiais, é indispensável o conhecimento da velocidade de propagação característica do material (determinada por ensaio numa zona adjacente sã) para, com o tempo de propagação medido, inversamente se poder determinar o valor do percurso real das ondas.

O primeiro processo (fig.XIV-10(a)) consiste em procurar, para duas posições do transdutor de emissão, as correspondentes posições do transdutor de recepção em que a onda é recebida sem difracção.

O segundo processo (fig.XIV-10(b)) baseia-se no facto da elipse ser o lugar geométrico dos pontos em que é constante a soma das distâncias a outros dois fixos (pontos de aplicação dos transdutores); a intersecção de duas elipses conduz à solução.

No caso de fendas superficiais, o problema simplifica-se, pois apenas se pretenderá saber as suas profundidades. Assim, ou se utilizará a difracção, colocando os transdutores de tal forma que a fenda se interponha entre ambos, ou se procurará uma conjugação de posições em que a onda seja recebida sem difracção (fig.XIV-10(c)).

Os processos indicados, embora simples nos princípios, encontrarão dificuldades de ordem prática na sua aplicação às barragens.

## A N E X O

Quantidade	Designação
1	Instruções
1	Transformador 220/110 V
1	Cabo de alimentação c/4,30 m e fichas tipo americano (macho e fêmea) nos extremos
1	Cabo de alimentação CBN 2 x 1 c/20 m e fichas macho e fêmea nos extremos (extensão)
1	Cabo de emissor c/7,5 m e fichas tipo Radiall UHF - PL - 259
1	Cabo de receptor c/7,5 m e fichas do tipo anterior
4	Membranas de borracha para emissor e receptor
1	Bomba de óleo
1	Frasco de plástico de 1 litro c/óleo de rícino de teor de <u>hu</u> midade inferior a 0,13%
2	Frascos de plástico c/óleo de rícino para consumo nos ensaios
1	Frasco c/óleo de lubrificação de motores eléctricos
1	Caixa de fusíveis (250 V, 3 A, 31 mm de comprimento)
1	Chapa de ferro de espessura 0,5 mm
2	Pilhas de 67,5 V (tipo Tudor 1154)
4	Pilhas de 1,5 V (tipo Tudor 211)
12	Pilhas de 1,5 V (tipo Tudor 214) para telefone
1	Suporte de lâmpada c/2 tomadas de corrente
1	Adaptador sistema americano-europeu
1	Ficha tripla de baquelite
1	Ficha macho de baquelite
1	Ficha fêmea de baquelite
4	Fichas-banana adaptadas aos telefones
1	Lanterna portátil
1	Lâmpada de 3,5 V - 0,2 A
1	Chave de fendas busca-polos 80 x 3
1	Chave de fendas 150 x 5
1	Chave francesa de 4"

## CAP. XV - COLOCAÇÃO DA APARELHAGEM

### 1 - FIO DE PRUMO DIREITO

Para proceder à montagem do fio de prumo direito, constituído, como se viu, por um fio e por um peso suspenso do fio por meio de um dispositivo de suspensão próprio, é necessário proceder à colocação no local próprio do dispositivo de suspensão do fio, do dispositivo de fixação do fio, das bases de coordenómetro e do tanque de amortecimento das oscilações no qual o peso fica mergulhado.

Os dispositivos de suspensão e de fixação são montados sobre cantoneiras de aba igual a 70 mm ou a 80 mm, encastradas 40 cm a 50 cm no betão, como se indica na fig. II-1.

O fio deve ser fornecido enrolado num carretel para evitar que fique embaraçado durante a montagem. A ligação do fio aos dispositivos de suspensão do mesmo e do peso faz-se enrolando-o no fio da zona existente nos eixos dos dois dispositivos e fazendo o aperto com as mandíbu - las de que os dispositivos estão equipados.

As bases do coordenómetro devem ficar colocadas de forma que uma das réguas do coordenómetro fique orientada segundo a direcção radial e a outra segundo a direcção tangencial - no caso de uma barragem de planta curva - que, além disso, a distância do fio à régua grande seja, no máximo, de  $3/4$  do comprimento da régua pequena e que o fio fique situado em posição tal que possa ser visado pelo óculo de qualquer posição que este tome sobre a régua grande.

### 2 - FIO DE PRUMO INVERTIDO

Se o fio de prumo invertido é montado num poço acessível, usam-se

dispositivos de suspensão e de fixação do fio iguais aos utilizados nos fios de prumo direitos. Se o poço não é acessível, como é o caso de furos feitos por meio de sonda, usa-se a peça apresentada na fig. II-7, simultâneamente como dispositivo de suspensão e de fixação do fio. A peça, como a figura indica, pode ser amarrada ao fio por um sistema de aperto e, como tem cerca de 7 kg de peso, permite manter o fio esticado durante a montagem. Esta faz-se deixando descer a peça com o fio amarrado pelo poço até tocar no fundo. Nesta altura lança-se no poço argamassa fluida até a peça de rixação e suspensão ficar parcialmente embebida na argamassa. Para que a operação tenha êxito é necessário que o poço esteja seco para o que será necessário bombar a água que porventura tenha a fluido ao poço.

A montagem da base de coordenómetro faz-se de forma igual à des - crita para o fio de prumo direito. A colocação do depósito que receberá o flutuador faz-se sobre poleias encastradas no betão.

A ligação do fio ao flutuador faz-se de maneira idêntica à descrita atrás quando se referiu a ligação ao dispositivo de suspensão do fio de prumo direito.

### 3 - BASES DE CLINÓMETRO

As bases de clinómetro devem ser colocadas de forma que os seus movimentos sejam representativos do movimento da massa da barragem para o que devem ser profundamente encastradas no betão. As bases que se apoiam em superfícies verticais ou inclinadas devem ser montadas sobre ferros U de 8 cm de altura e embebidos cerca de 40 cm no betão. As bases que se apoiam em superfícies horizontais devem ter um espigão de cerca de 40 cm embebido no betão.

A horizontalidade da base durante a sua colocação deve ser assegurada com o próprio clinómetro para o que se deve calar a bolha de nível,

actuando sobre a base e não sobre o parafuso micrométrico, e mantendo o parafuso micrométrico na leitura 20-000 da janela frontal, correspondente à posição média da escala do clinómetro.

#### 4 - BARRA DE FUNDAÇÃO

A barra de fundação (fig. IV-1 ) deve ser colocada de forma que a referência cônica possa ser visada com o coordenómetro a partir da mesma base donde é visado o fio de prumo direito que se observa em conjugação com a barra de fundação. Além disso, deve assegurar-se a horizontalidade da cabeça da barra de fundação no momento da sua instalação.

O tubo de ferro da barra de fundação é ligado pela sua extremidade inferior à rocha de fundação. Essa ligação é feita com argamassa fluida que se lança dentro do furo aberto com sonda até perfazer cerca de 50 cm a partir do fundo. O furo deve estar seco para o que a água deve ser bombeada antes da instalação do tubo. Enquanto a argamassa não faz presa, coloca-se a cabeça da barra de fundação horizontal, montando o clinómetro sobre a cabeça, nas duas direcções normais entre si. Obtida a horizontalidade a barra deve ser escorada até a argamassa fazer presa. Para evitar que entre lixo no espaço entre as paredes do furo aberto na rocha e o tubo de ferro deve tapar-se a extremidade superior do furo mas de forma a não impedir os deslocamentos da barra de fundação.

#### 5 - MEDIDORES DE JUNTAS CARLSON

Na fig. XV-1 apresentam-se os pormenores relativos à colocação dos medidores de juntas. O aparelho é fornecido com uma caixa cilíndrica, prolongada numa das extremidades por um varão de fixação ao betão, tendo nessa mesma extremidade e pela parte de dentro, aberta uma rosca onde virá a ficar ligado o medidor de juntas. A outra extremidade é tapada com uma tampa roscada que veda a entrada na referida caixa.



## XV.4

Esta caixa é sempre colocada no bloco mais alto, como se vê na fig. XV-1 e, só quando o bloco mais baixo atinge a cota de colocação, é que o medidor de juntas é roscado no fundo da caixa e fica definitivamente embebido no betão, tal como a figura indica.

Dois casos se podem no entanto dar: ou o cabo sai do bloco mais baixo e então não há que realizar qualquer dispositivo especial, ou o cabo sai no bloco mais alto e então há que deixar ficar enrolado, numa caixa de madeira fixada à cofragem e que mais tarde é removida, um comprimento de cabo de cerca de 1,60 m que permitirá, quando da colocação do medidor de juntas, fazer as ligações, tal como se indica na mesma figura.

### 6 - BASES DE ALONGÂMETRO

A maior parte das instruções para a colocação das bases de alongsmetro já foi dada no Cap. V pelo que dispensamos aqui a sua repetição. Há sòmente a acrescentar ao que já se disse que, para a abertura dos furos no betão, é conveniente possuir um escantilhão de madeira com orifício nos pontos onde vão ser abertos os furos no betão e tendo, além disso, marcada a posição da junta (fig. XV-2 ). As bases colocadas em superfícies horizontais que sirvam de pavimento devem ter o dispositivo de protecção que se indica na fig. XV-3.

A argamassa utilizada na colocação das bases de alongsmetro deve ser preparada com areia fina e ter o traço de 1:3 em volume. De preferência deve usar-se cimento de presa rápida ou adicionar um acelerador da presa do cimento.

### 7 - MEDIDORES DE HUMIDADE

#### 7.1 - Medidor de humidade de placas

A colocação deste medidor de humidade não exige cuidados especiais

pois a sua orientação dentro da massa do betão pode ser qualquer, O corrector deve ser cuidadosamente cheio com betão de inertes pequenos de pois do que se procede à soldadura da tampa ou à sua colocação e aperto sobre a junta de borracha por meio de parafusos.

A introdução deste medidor na massa do betão deve ser feita, escavando uma cavidade no betão já vibrado, introduzindo-o nessa cavidade, tapando com betão fresco e vibrando de novo.

### 7.2 - Telehigrómetro geoeléctrico

Estes medidores de humidade são de colocação extremamente simples, bastando abrir um roço no betão já vibrado, tapar com betão fresco e vibrar em seguida.

### 7.3 - Telehigrómetro de corda vibrante

Para a colocação deste aparelho utiliza-se a montagem representada na fig. XV-4 . Trata-se de uma caixa com paredes de rede fina na qual se introduz o telehigrómetro. O conjunto é, por sua vez, introduzido numa cavidade aberta no betão que depois é cheia com betão fresco, o qual é vibrado em seguida. A rede fina impede a entrada dos inertes e do cimento de betão, formando-se deste modo um ôco na massa do betão.

## 8 - MEDIDOR DE PRESSÃO CARLSON ("CARLSON PORE-PRESSURE METER")

Este aparelho deve ser amarrado a um pedaço de varão chumbado na camada de betonagem anterior àquela em que se vai fazer a colocação e com a extremidade porosa voltada para montante.

## 9 - TOMADAS DE PRESSÃO

Em relação ao que se disse no Cap. VIII pouco há a acrescentar sendo de referir unicamente que a argamassa que se coloca sobre a meia ca

## XV.6

na, na segunda montagem descrita, deve ser bastante porosa, isto é, ser fabricada com areia grossa.

### 10 - TERMÓMETROS E PARES TERMOELÉCTRICOS

#### 10.1 - No interior do betão

Em geral os aparelhos colocam-se em vários pontos, a cotas diferentes de uma determinada camada de betonagem. É conveniente que tanto o aparelho como o cabo de ligação fiquem amarrados a um varão de ferro chumbado na camada de betonagem anterior àquela onde se está a fazer a colocação. Como, porém, o ferro é bom condutor do calor não se deve pôr o aparelho em contacto com ele mas deixá-lo livre (fig. XV-5 ).

#### 10.2 - Nos paramentos, no ar e na água

Na fig. XV-5 indicam-se os pormenores de colocação dos aparelhos colocados nos paramentos, no ar junto do paramento de jusante e na água junto do paramento de montante. Por a figura ser suficientemente explícita dispensam-se mais explicações.

#### 10.3 - Na água da albufeira

As temperaturas devem ser lidas segundo o eixo da albufeira, isto é, na sua linha de maiores profundidades.

Deverão fazer-se leituras das temperaturas da água em contacto com o paramento de montante da barragem, para o que será necessário ir de barco quando não seja possível fazer tal medição a partir do coroamento da barragem, e a 10, 20, 50 e 100 m da barragem. Deve ter-se o cuidado de ficar o mais afastado possível das tomadas de água ou das descargas de fundo.

As temperaturas devem ser lidas

À superfície

0,50 m abaixo da superfície  
 1,00 m " " "  
 3,00 m " " "  
 5,00 m " " "  
 10,00 m " " "  
 De 10 em 10 m até ao fundo  
 No fundo .

Estas leituras serão feitas simultâneamente com as leituras da restante aparelhagem de observação da barragem.

## 11 - EXTENSÓMETROS

### 11.1 - Extensómetros Carlson ("Carlson strain-meter type SA-10")

A colocação dos extensómetros Carlson faz-se mediante o emprego de dispositivos indicados nas figs. XV-6 e 7.

A pega representada na fig. XV-7 permitirá uma ligação não rígida ao suporte, não sendo, por isso, de temer que qualquer deformação de um extensómetro seja transmitida a outro através da pega e do suporte, ou que o extensómetro registe também a deformação do betão sofrida entre os extremos da pega.

Os grupos serão montados dentro de uma cofragem de madeira com a forma de um tronco de pirâmide quadrangular com as dimensões indicadas na fig. XV-8 , onde se representou a título de exemplificação uma roseta de extensómetros dentro da cofragem. Na fig. XV-9 pode ver-se um aspecto de uma colocação de extensómetros.

É necessário ter em atenção que na roseta de extensómetros o conjunto de extensómetros nºs. 2 e 5, deve ficar no plano radial da barragem.

A envolver os grupos de extensômetros será necessário usar um betão de inertes de dimensões não superiores a 7 cm. É necessário, por isso, que o betão seja escolhido e colocado à pá, sendo a sua vibração feita com um vibrador de pequena potência.

Os extensômetros correctores são metidos dentro de caixas metálicas indicadas nas fig. XV-10, sendo depois cheias com o mesmo betão envolvente dos aparelhos. A caixa por sua vez deverá ser envolvida por uma massa do mesmo betão. Os extensômetros correctores devem ser colocados a 1,00m dos extensômetros medidores e a sua distância ao paramento igual àquela a que se encontram os extensômetros medidores.

#### 11.2 - Extensômetros C-30 e de dupla corda

Os dispositivos para a colocação dos grupos de extensômetros C-30 e dos grupos de extensômetros de dupla corda vibrante já referidos atrás, estão representados nas figs. XV-11 e 12.

#### 11.3 - Extensómetro de grande base

Para proceder à colocação deste aparelho já atrás descrito e utilizado para a medição de extensões na rocha de fundação devem realizar-se as seguintes operações:

a) Untar o aparelho com uma camada de massa consistente e, seguidamente, envolvê-lo com uma cinta de papel enrolada em espiral, voltando a pôr nova camada de massa, mas agora com mais abundância. Ter o cuidado de não cobrir com massa ou papel as cabeças do aparelho, bem como um troço do mesmo, de cerca de 10 cm de comprimento a partir de cada extremo.

b) Os furos de sonda para introdução dos aparelhos não devem ter diâmetro nem comprimento inferiores respectivamente a 8 cm e a 3 m, e serão abertos no número e orientação indicados no plano de observação.

c) Como o aparelho vem do fabricante com cerca de 50 cm de cabo e

a cabeça do extensómetro deverá ficar pelo menos a 1 m da superfície da fundação, há que preparar ou uma ligação especial que substitua a caixa de junção ou utilizar caixas com dimensões tais que permitam a sua introdução no furo previamente realizado no terreno para o aparelho, como se verá adiante.

d) Encher o furo com argamassa de areia fina muito fluída se possível a partir do fundo do furo.

#### 11.4 - Extensómetro para armaduras

No Cap.X foram dadas as indicações necessárias para a colocação deste extensómetro, ao fazer a sua descrição, pelo que se dispensa a sua repetição.

### 12 - TENSÓMETRO CARLSON ("CARLSON STRESS-METER")

#### 12.1 - Instruções do "Bureau of Reclamation"

Estudos conduzidos em laboratório, juntamente com a análise dos resultados obtidos com tensómetros já colocados, mostraram que as condições de colocação têm uma grande importância no funcionamento, em boas condições, do aparelho a que um contacto satisfatório do disco com o betão pode ser obtido somente tendo em particular atenção a temperatura e a exsudação da água. O material do disco normalmente tem um coeficiente de dilatação térmica maior do que o do betão. Altas temperaturas pouco tempo depois da colocação têm como resultado uma expansão do disco relativamente ao betão circundante e eventualmente o deslocamento deste betão plástico. Quando a temperatura diminui o disco contrai-se mais do que o betão e fica um vazio entre o tensómetro e o betão. No entanto, em betão que pode sofrer grandes variações de temperatura, os tensómetros devem ser colocados perto da superfície da camada de betonagem onde as temperaturas atingidas pela hidratação do cimento, quando o betão está ainda plástico, não são tão grandes como a maior profundidade. Por outro lado quando um tensómetro é colocado horizontalmente no betão fresco o disco tem tendência a formar

vão ou ponte sobre uma área considerável, forma-se ao dar-se a presa e o endurecimento um vazio debaixo do aparelho que se enche de água, que vai depois ser absorvida pelo betão. Fica assim uma cavidade sob o aparelho.

Para evitar as dificuldades apontadas, foi estudada uma técnica de colocação em laboratório e depois usada no campo. Como se mostra na fig. XV-13 forma-se uma cavidade no topo da camada de betonagem. No dia seguinte limpa-se a cavidade com jacto de areia ou esfrega-se com escova de arame e lança-se dentro uma almofada de 0,5 cm de espessura de argamassa. Depois de esperar uma hora até que a exsudação dessa argamassa tenha cessado, o tensómetro é colocado e nivelado e então deixa-se passar mais 3 horas para permitir qualquer contracção adicional da argamassa. Então enche-se a cavidade com betão de inertes de dimensão máxima igual a 7 cm.

Uma vez que a entrada de água não afecta os aparelhos colocados verticalmente no betão, não se torna necessário usar qualquer técnica especial para os tensómetros destinados a medir tensões horizontais, além do cuidado de serem colocados perto do topo da camada.

## 12.2 - Instruções do fabricante

a) Para medição de tensões verticais ou inclinadas é essencial uma superfície dura para a colocação de um tensómetro destinado a medir tensões verticais ou inclinadas. Quando colocados em betão fresco há porém o inconveniente de se juntar alguma água na face inferior do tensómetro e este contacto imperfeito torná-lo-á inútil. É aconselhável colocar o tensómetro numa cavidade com cerca de 20 cm de profundidade, no topo da camada de betonagem anterior. O tensómetro para medição de tensões verticais (tensómetro horizontal) deve ser depositado na superfície horizontal da cavidade e o tensómetro a  $45^{\circ}$  deve ser colocado na face da cavidade a  $45^{\circ}$ .

É extremamente importante que a técnica de colocação seja tal que haja contacto íntimo entre o betão e as superfícies planas do tensómetro.

As seguintes operações são de recomendar como um meio de obter bom contacto.

- Esfregar com escova de arame, ou por outro processo qualquer, a superfície endurecida do betão, para conseguir uma boa superfície de ligação (fig.XV-13).

- Cerca de 30 minutos antes da colocação, preparar cerca de 200 g de argamassa contendo 1 parte de cimento, 1 1/2 partes de areia passando no peneiro nº. 30 e a água necessária para produzir uma consistência de boa trabalhabilidade.

- Imediatamente antes da colocação, pintar a superfície do betão com um filme de calda, pela adição de água a uma pasta da argamassa até ter a consistência de creme. Esta operação destina-se a humidificar e lubrificar a superfície a fim de que, quando o tensómetro é colocado na almofada de argamassa, na operação seguinte, a argamassa não escorra por cima de orifícios ou depressões quando é apertada para fora, deixando as sim vazios na superfície de contacto (fig. XV-13).

- Depois da superfície pintada coloca-se, no centro da área onde o tensómetro será colocado, cerca de 150 g de argamassa, sendo a esta argamassa dada grosseiramente a forma de um cone (fig. XV-13 ).

- Então o tensómetro é apertado de encontro a esta argamassa obrigando-a a escorrer para fora e a aparecer à volta do bordo do disco (fig. XV-13).

- Deve ser aplicado então um certo peso ao tensómetro até que ele esteja coberto com betão podendo ser previsto um tripé especial para aguentar o peso de cerca de 10 kg. De facto, quando se coloca um tensómetro horizontal é de boa técnica aplicar um peso até que ele esteja bem coberto com betão. Depois que o tensómetro foi colocado na argamassa, um tripé metálico pode ser colocado na face superior do disco, de tal forma que um peso de cerca de 10 kg se possa colocar em cima do tripé a 30



cm ou mais acima do tensómetro. Depois de este estar bem coberto com be tão o peso e o tripé podem ser removidos. Esta prática assegura um con tacto perfeito entre o tensómetro e o betão inferior (fig. XV-13).

b) Para medição de tensões horizontais os tensómetros são coloca - dos no betão fresco, normalmente à mão. É usual colocar o betão fresco à volta de todo o disco à excepção do bordo superior, carregar bem o be tão à volta e deixá-lo endurecer algum tempo antes de cobrir o tensóme - tro completamente. Deixando uma pequena porção do bordo exposto tanto tempo quanto possível, tem-se mais facilmente a certeza de que a posi - ção e a direcção são correctas. A colocação de um tensómetro para medir tensões horizontais é usualmente feita no fim de uma betonagem, depois de os trabalhadores a terem acabado, mas enquanto o betão ainda está plástico. Desta maneira, os cabos condutores podem ser levados ao longo da superfície do betão fresco e cobertos de forma a ficarem protegidos daí para o futuro.

### 12.3 - Instruções do L.N.E.C.

As instruções do fabricante dos tensómetros são mais modernas, além de que as operações são mais simples e rápidas. Aconselha-se pois a usar as instruções fornecidas pelo fabricante na colocação de tensómetros ho rizontais quando haja pouco tempo ou seja de interesse colocá-los ràpi - damente.

Para a colocação de tensómetros horizontais, quando se disponha de muito tempo, ou em planos a  $45^{\circ}$ , onde há dificuldade em colocar o tripé com o peso, aconselha-se a usar as seguintes instruções inspiradas nas do "Bureau of Reclamation":

- Esfregar a superfície da cavidade onde vai assentar o tensómetro com uma escova de arame, fazendo depois incidir um jacto de ar comprimi - do nessa superfície.

- Preparar a argamassa.
- Pintar com a calda de cimento a superfície da cavidade onde se colocará o tensômetro.
- Colocar uma camada de argamassa com 0,5 cm de espessura e esperar 1 hora.
- Colocar o tensômetro carregando nela até a argamassa refluir e esperar 3 horas.
- Encher a cavidade cuidadosamente com betão de inertes pequenos e vibrar cuidadosamente com um vibrador pequeno.

## CAP. XVI - LIGAÇÕES DOS APARELHOS EMBEBIDOS NO BETÃO

### 1 - CABOS UTILIZADOS

Os cabos utilizados para ligação ao exterior dos aparelhos eléctricos embebidos no betão são diferentes conforme o aparelho de que se trata. Vamos referir, para os vários tipos de aparelhos os cabos utilizados, e as suas principais características.

#### 1.1 - Aparelhagem Carlson

Toda a aparelhagem Carlson, à excepção dos termómetros, vem equipada com cerca de 70 cm de cabo de três condutores multifilares de cobre com as cores branca, preta e verde. O cabo que vem ligado aos aparelhos Carlson é isolado a borracha e cada um dos condutores também é isolado a borracha. O diâmetro exterior desse cabo é de 11 mm, o diâmetro exterior (com o isolamento) de cada um dos condutores é de 3,5 mm e cada condutor tem 64 fios de cobre com o diâmetro de 0,15 mm. A este cabo é emendado, como já se disse atrás, um cabo de quatro condutores multifilares de cobre com as cores branca, preta, verde e encarnada. Este cabo começou a ser fabricado em Portugal em 1953 segundo especificações inspiradas nas do "Bureau of Reclamation" que adiante se transcrevem. As principais características desse cabo são as seguintes: isolamento a borracha com neoprene, diâmetro exterior de cabo 14,5 mm, diâmetro exterior de cada condutor 3,5 mm e 16 fios de cobre de diâmetro igual a 0,25 mm, por cada condutor.

#### 1.2 - Extensómetro de corda vibrante C-30

Este aparelho é ligado ao cabo no instante da sua preparação para a colocação. Para esse fim o tubo que existe lateralmente é desenroscado, fi

## XVI.2

cando à vista os terminais de ligação aos quais se ligam os dois condutores do cabo de ligação. O tubo é então enroscado de novo, o buçim desapertado e a câmara que fica entre o cabo e o tubo cheia de massa isolante ou parafina, depois do que se aperta o buçim.

O cabo utilizado é cabo de dois condutores multifilares de cobre com as cores branca e preta. O cabo deve obedecer às especificações dos outros cabos de ligação pelo que se refere a resistências mecânicas e de isolamento e as secções dos condutores devem ser iguais às dos usados para a ligação da aparelhagem Carlson.

### 1.3 - Extensómetro de dupla corda vibrante

Este extensómetro tem dois electroímans independentes e portanto dois circuitos também independentes. Os fios de ligação dos electroímans devem sair na câmara de ligação do cabo existente numa das extremidades do aparelho e estão devidamente identificados, assinalando-se com o sinal (+) os condutores correspondentes ao electroímã que acciona a corda que estica quando o comprimento do extensómetro aumenta e com (-) os correspondentes à outra corda. A ligação é feita dentro da câmara, com o topo do extensómetro desenroscado. A câmara é posteriormente cheia com massa isolante e o buçim lateral apertado. Usa-se cabo igual ao utilizado com a aparelhagem Carlson, reservando-se as cores branca e preta para o electroímã (+) e as cores verde e encarnada para o electroímã (-).

### 1.4 - Termómetros de resistência

O termómetro de resistência é fornecido com cerca de 50 cm de cabo de condutores multifilares de cobre com as cores branca, preta e encarnada. As características deste cabo são iguais às do cabo que vem ligado à aparelhagem Carlson, já referidas atrás. Este cabo é ligado a um cabo com três condutores multifilares de cobre e com as mesmas cores do condutor com o qual o

aparelho é fornecido, mas com maior espessura de isolamento. Este cabo tem um diâmetro exterior de 13 mm e 16 fios de cobre de diâmetro igual a 0,25 mm por cada condutor.

#### 1.5 - Par termoeléctrico

O par termoeléctrico é fabricado com cabo de dois condutores unifilares, sendo um de cobre e outro de constantan, isolados a seda e borra<sub>cha</sub> com neoprene. O diâmetro exterior do cabo é de 10 mm e o diâmetro de cada um dos condutores é de 0,8 mm. Cada condutor com o isolamento respectivo tem um diâmetro de 3 mm

#### 1.6 - Medidores de humidade

##### 1.6.1 - Medidor de humidade de placas e telehigrómetro de corda vibrante

Na ligação destes aparelhos usa-se cabo igual ao utilizado nas ligações do extensómetro C-30 já descrito atrás.

##### 1.6.2 - Telehigrómetro geoelectrico

Usa-se cabo de quatro condutores igual ao utilizado com a aparelhagem Carlson.

## 2 - ESPECIFICAÇÕES DO "BUREAU OF RECLAMATION" PARA CABOS DE TRÊS E QUATRO CONDUTORES MULTIFILARES DE COBRE

### 2.1 - Objectivo

Estas especificações dizem respeito ao fabrico de cabos de 3 e 4 condutores multifilares, de resistência igual, isolados e revestidos a borracha, utilizados na ligação dos instrumentos de medida de alta precisão, embebidos no betão das barragens, com os convenientes quadros ter

minais situados nas galerias. Uma porção considerável do cabo destina-se a ficar embebida directamente no betão da barragem, e daí a extraordinária importância que têm a robustez de construção, a impermeabilidade à humidade sob pressões elevadas, a uniformidade da resistência e a durabilidade. As condições invulgarmente severas que este cabo é destinado a suportar incluem temperaturas, tanto do ar como do betão, até 50°C, humidade excessiva, reacção alcalina do betão, e rudeza de manejo durante a instalação.

## 2.2 - Descrição geral

Este cabo será constituído por 3 ou 4 condutores multifilares n.º.18 AWG de resistência igual com isolamento à base de borracha, com a espessura de 1,2 mm e resistente à humidade e ao calor, conforme as especificações da parte que se segue, e contendo uma percentagem não inferior a 30% em peso de borracha "new Hevea" enrolada com juta e revestida de uma camada de 2,4 mm de isolante com 60% de borracha "new Hevea". O diâmetro exterior do cabo de 3 condutores não excederá 13,0 mm e o do cabo de 4 condutores 14,5 mm. O diâmetro será estabelecido pelo fabricante.

## 2.3 - Condutores

Cada condutor será composto por 16 fios de cobre estanhado ou revestido de liga de chumbo, com o diâmetro de 0,254 mm (n.º. 30 AWG). Todos os condutores deverão satisfazer às condições especificadas em A.S.T.M.B-33, com a excepção de que o fio deverá resistir a 4 ciclos do ensaio ao polissulfato de sódio. A resistência dos condutores em corrente contínua será rigorosamente controlada e as resistências dos condutores em cada cabo parcial calibrar-se-ão de modo a ficarem dentro dos limites de tolerância que a seguir se especificam para os cabos acabados.

## 2.4 - Isolamento

Cada condutor terá um isolamento à base de borracha convenientemente vulcanizada, contendo uma percentagem em peso de borracha "new Hevea" não inferior a 30%, o qual deverá ser homogêneo, sólido e elástico. Os materiais utilizados no fabrico do isolante deverão ser secos e isentos de água, componentes solúveis e outras substâncias que poderiam resultar nocivas para o isolamento de borracha. No isolante não deverá utilizar-se mais que 8% em peso de enxofre. Deverá ser preparado e vulcanizado de modo a resistir aos ensaios de fabrico e satisfazer às propriedades físicas e eléctricas especificadas no que se segue. O isolamento deverá aplicar-se em camada concêntrica com o condutor, e fixar-se de modo que adira perfeitamente a este. A espessura da camada isolante deverá ser de 1,2 mm. O isolamento deverá ter uma cor que permita distinguir perfeitamente uns condutores dos outros, ou qualquer outra marca que facilite a identificação. O fabricante determinará qual a percentagem de borracha do isolante, e a designação comercial deste.

## 2.5 - Ensaios físicos e ensaios de envelhecimento acelerados do isolamento

Tomar-se-ão amostras do isolamento de pelo menos 10% das bobines ou rolos, em qualquer caso nunca de menos de dois, após a vulcanização e antes da aplicação de qualquer revestimento. Estas amostras submeter-se-ão aos ensaios a seguir descritos, devendo apresentar concordância com os limites especificados. De cada amostra preparar-se-ão três espécimes para cada ensaio especificado. A amostra será considerada como satisfazendo aos ensaios quando a média dos dois melhores entre os três resultados de cada tipo de ensaios estiver em conformidade com os limites especificados.

Os espécimes para ensaio deverão abranger toda a secção do isolamento. O condutor não deverá retirar-se dos espécimes destinados ao ensaio de

envelhecimento na bomba de oxigénio ou no forno de Greer antes de estar completado o envelhecimento. Os ensaios físicos tanto sobre as amostras envelhecidas como sobre as não envelhecidas deverão efectuar-se simultaneamente. As amostras envelhecidas devem ter um período de descanso, não inferior a 16 horas nem superior a 48, entre a conclusão do ensaio de envelhecimento e a determinação das propriedades físicas.

Cada espécime para ensaio, com um comprimento não inferior a 152,40 mm e com marcas de referência espaçadas de 50,8 mm, ensaiar-se-á numa máquina normalizada e por um método aprovado. O espécime deverá romper entre as marcas de referência, e a resistência à tracção será calculada em relação à área do mesmo antes do ensaio. A determinação do módulo de elasticidade deverá fazer-se em combinação com o ensaio de tracção, registando-se a carga quando as marcas de referência estão afastadas de 152,40 mm. O alongamento determina-se lendo a distância em milímetros entre as marcas de referência no ponto de rotura.

O ensaio da bomba de oxigénio far-se-á aquecendo os espécimes numa atmosfera de oxigénio à pressão de  $21 \text{ kgf/cm}^2$ , à temperatura de  $70^\circ\text{C}$ , durante 96 horas. Os espécimes deverão suspender-se verticalmente de modo que não se toquem entre si nem toquem nas paredes da bomba.

O ensaio no forno de Greer far-se-á aquecendo os espécimes à temperatura de  $70^\circ\text{C}$  durante 7 dias num forno com circulação livre do ar. Os espécimes devem suspender-se verticalmente de modo a não se tocarem entre si nem tocarem nas paredes do forno.

O isolamento deverá satisfazer às seguintes condições (valores limites):



	Espécimes não envelhecidos	Tratados na bomba de oxig.	Tratados no forno de Greer
Resistência mínima à tração, kgf/cm <sup>2</sup>	140	112,5	112,5
Módulo de elasticidade mínimo, kgf/cm <sup>2</sup>	28,12	-	-
Alongamento (mm)	25,4	22,86	22,86

## 2.6 - Ensaio elétrico dos condutores

Cada troço acabado de condutor isolado a borracha mergulhar-se-á, antes de entrançar os condutores, em água limpa à temperatura ambiente durante um período de pelo menos 24 horas, após o que, e ainda mergulhado, se submeterá aos ensaios elétricos a seguir descritos, devendo concordar com os limites especificados.

Cada condutor deverá resistir a uma tensão alternada de 3 000 V, aplicada, conforme o determinado nas especificações da American Standards Association (A.S.A.-C8.1) 30-200 a 30-209 inclusive, entre o condutor e a água em que este mergulha, por um período de 5 minutos.

Os condutores ensaiar-se-ão à resistência elétrica do isolamento com uma tensão não inferior a 200 volts, aplicada durante 1 minuto entre o condutor e a água em que este mergulha. A resistência calcular-se-á a partir do desvio do galvanómetro, não devendo ser inferior a 8 000 M por cada 304,8 m (1 000 pés) de cabo após correcção para a temperatura de 15°C.

A capacidade elétrica entre cada condutor isolado e a água em que mergulha medir-se-á com uma ponte de corrente alternada e capacidades a

feridas, a uma frequência de 1000 c/s, não devendo exceder 0,090 F por cada 304,8 m (1 000 pés).

#### 2.7 - Entrançar os condutores

Os condutores serão entrançados duma maneira conveniente. Os interstícios exteriores vedar-se-ão com juta alcatroada contendo um máximo de 20% de alcatrão, sem excesso deste. O núcleo assim formado ligar-se-á com um fio leve, resistente, dando no máximo uma volta completa por cada 25,4 mm de cabo, a fim de manter unidos os condutores e a juta durante a aplicação do revestimento protector; não poderão para este fim usar-se fitas de pano ou semelhantes.

#### 2.8 - Revestimento

O núcleo entrançando revestir-se-á com um isolante à base de borracha, vulcanizado a pressão, e com um teor de borracha "new Hevea" não inferior a 60% em peso. Este revestimento deverá ter uma espessura de 2,4 mm e ser aplicado concêntricamente e de modo que fique isento de choque ou outros defeitos, e com uma superfície exterior sem saliências nem cavidades; o diâmetro exterior não deverá exceder 13,0 mm para o cabo de 3 condutores, ou 14,5 mm para o de 4 condutores. O isolante empregado deverá ser dum tipo resistente ao desgaste e aos efeitos corrosivos da água e dos álcalis à temperatura de 50°C.

#### 2.9 - Ensaios físicos e ensaios de envelhecimento acelerados do revestimento

O isolante à base de borracha que forma o revestimento do cabo deverá satisfazer aos ensaios a seguir indicados, para espécimes confeccionados e ensaiados de acordo com as especificações nº.22-R-601 A, da "Fede

ral Specifications for Rubber Goods", na medida em que estas são aplicáveis. Todos os espécimes deverão confeccionar-se antes de se proceder aos ensaios de envelhecimento, devendo todos eles, tantos os envelhecidos como os não envelhecidos, ser ensaiados simultaneamente. Aos espécimes envelhecidos dar-se-á um descanso, não inferior a 16 horas e não superior a 48, entre a conclusão do ensaio de envelhecimento e a determinação das propriedades físicas.

Resistência à tracção mínima, não envelhecido .....	253 kgf/cm <sup>2</sup>
Extensão mínima, (5,08 a 30,48 cm), não envelhecido..	500 %
Módulo de elasticidade, não envelhecido. Tensão de tracção necessária para um alongamento de 5,08 a 20,32 cm, mínima .....	91,4 kgf/cm <sup>2</sup>
Ensaio de Greer. Resistência à tracção após 7 dias no ar a 21°C, mínima .....	168,7 kgf/cm <sup>2</sup>
Ensaio na bomba de oxigénio. Resistência à tracção após 96 horas em atmosfera de oxigénio a 21 kgf/cm <sup>2</sup> e a 70°C, mínima .....	140,6 kgf/cm <sup>2</sup>
Extensão mínima após envelhecimento por qualquer dos dois métodos anteriores (5,08 a 25,4 cm) .....	400 %

#### 2.10 - Ensaios físicos do cabo acabado

O cabo acabado deverá apresentar à tracção uma resistência total de pelo menos 113 kg para o de 3 condutores, e de 136 kg para o de 4 condutores.

#### 2.11 - Ensaios eléctricos do cabo acabado

Cada cabo, acabado, mergulhar-se-á em água limpa à temperatura am

biente durante pelo menos 48 horas, após o que, e ainda mergulhado na água, se submeterá aos ensaios eléctricos abaixo descritos, devendo apresentar concordância com os limites indicados.

Cada um dos troços acabados deverá ser capaz de resistir a uma tensão alternada de 2 000 V, aplicada, de acordo com as normas (A.S.A.-C.F.1) 30-200 a 30-209 inclusive, da American Standards Association, entre os condutores e a água, por um período de 5 minutos.

A resistências de cada condutor em corrente contínua medir-se-á depois de o cabo ter sido enrolado; tais resistências não deverão diferir em mais de 5% da resistência normal AWG dos condutores destas dimensões e número de fios, devendo além disso as resistências dos condutores individuais de cada troço de cabo ser iguais, com uma tolerância de 1%.

A capacidade entre cada um dos pares possíveis (cada dois condutores formando um par) deverá medir-se pelo mesmo método que o seguido na medição da capacidade de um condutor em relação à terra, então poderá exceder  $0,045 \mu\text{F}$  por cada 304,8 m (1 000 pés) de cabo.

#### 2.12 - Método de fornecimento

O cabo fabricar-se-á em troços de 304,8 (1 000 pés) a 914,4 m (3 000 pés), com as extremidades interior e exterior saindo do rolo numa extensão mínima de 1,20 m para facilitar a toma de amostras para os ensaios. O cabo deverá ser fornecido em bobines susceptíveis de devolução, cujos preços deverão ser especificados.

#### 2.13 - Inspeção e ensaios

O fabricante deverá fornecer o material necessário para a inspeção e o ensaio dos cabos ou dos materiais usados no seu fabrico. O inspector

deverá ter livre acesso às dependências da fábrica onde lhe seja necessário entrar para examinar e ensaiar convenientemente os cabos, ou os materiais usados no seu fabrico, em qualquer fase do processo de manufactura. Nenhum condutor isolado deverá ser entrançado, nem nenhum cabo acabado deverá ser fornecido sem que todos os ensaios anteriormente especificados tenham sido efectuados, ou a sua execução dispensada, por escrito, por parte da Fiscalização ou do inspector que a represente.

Se a Fiscalização dispensar a inspecção por parte do seu inspector, o fabricante deverá, em substituição, fornecer cópias certificadas dos ensaios especificados ao gabinete do Engenheiro Chefe, devendo o custo do fornecimento destes relatórios ser incluído no preço unitário da proposta. A aceitação do material ou a dispensa da sua inspecção de modo algum isentará o fabricante da responsabilidade pelo fornecimento de material que satisfaça as condições constantes das presentes especificações.

#### 2.14 - Garantia

O fabricante, concordará em substituir prontamente, colocando-o sob camioes na estação de caminho de ferro mais conveniente para as obras, qualquer troço de cabo em que se tenham constatado avarias durante o seu uso em condições normais, no prazo de 1 ano a partir da data da instalação (começando este prazo a contar-se 6 meses no máximo após a data do embarque do cabo), e que estivesse defeituoso à data do embarque; essa substituição far-se-á logo que a avaria seja constatada por parte da Fiscalização. Deve entender-se que o fabricante não custeará quaisquer despesas de remoção do cabo defeituoso ou de instalação do cabo que o substitui. No caso de o fabricante não enviar o cabo para substituição, a Fiscalização poderá reparar ou promover a reparação do cabo avariado, ou proceder à sua substituição, obrigando o fabricante a pagar as despesas respectivas.

### 3 - EMENDAS DOS CABOS

#### 3.1 - Generalidades

Nas ligações dos aparelhos que são fornecidos com um troço de cabo é necessário fazer a sua ligação ao cabo que vai ser estendido até ao local de leitura. Esta operação é delicada e deve ser feita com todo o cuidado pois, no caso de ter sido mal executada, o aparelho fica inutilizado.

Também tem que se proceder a esta operação quando, devido a acidente, o cabo é cortado ou quando há necessidade de transferir para outro local o quadro de leitura.

#### 3.2 - Emenda com caixa de junção

O L.N.E.C. utiliza caixas de junção metálicas como a que se indica na fig. XVI-1 em que existe um buçim em cada um dos dois topos da caixa e uma tampa com uma junta de borracha. A ligação dos condutores metálicos é feita dentro da caixa, sendo cada um deles devidamente isolado com fita isoladora de borrachã\* e a caixa cheia depois com massa isolante e fechada. Os buçins, a junta da tampa e a massa isolante asseguram um isolamento eficaz. Este dispositivo está suficientemente experimentado para se poder afirmar que é completamente eficaz.

Normalmente estas caixas são prismáticas mas nas ligações dos extensómetros de grande base para medições na rocha, usa-se uma caixa como a que se apresenta na fig. XVI-2 para poder ficar instalada dentro do furo de sondagem onde se introduz o extensómetro.

#### 3.3 - Emenda sem caixa de junção, segundo instruções do "Bureau of Reclamation"

As instruções que se transcrevem a seguir para emenda de cabos foram elaboradas pelo "Bureau of Reclamation". Dizem respeito às emendas

---

\* Proceder como se indica na fig. XVI-3(b),(c),(d) e (e))

dos cabos de três e quatro condutores multifilares de cobre e para a sua execução não é necessário equipamento especial.

Nas duas pontas a serem ligadas o isolamento exterior será retirado numa extensão de 12 cm (cabo de 3 condutores) e 15 cm (cabo de 4 condutores) e os fios de enchimento e o fio de identificação enrolados para trás sobre o cabo com fita isoladora, para evitar que se partam e para ostivar da zona de ligação. Os condutores serão então cortados até comprimentos de 5 cm; 7,5 cm e 10 cm (cabo de 3 condutores) e 2,5 cm; 5 cm; 7,5 cm e 10, cm (cabo de 4 condutores) desde o fim do isolamento exterior, com as correspondentes cores das duas partes a casar quando ligadas.(fig.XVI-3(a)).

Os condutores serão então ligados e soldados cuidadosamente usando uma resina não corrosiva com as cores dos isolamentos casados. Este último cuidado é importante porque uma combinação de cores definida é usada nas ligações dentro dos aparelhos. Qualquer ponto aguçado da soldadura ou qualquer fio saliente serão cuidadosamente eliminados. Os condutores se rão deixados com um comprimento tal que qualquer extensão que vierem a su portar será igualmente repartida por eles. Depois da soldadura, cada liga ção será envolvida com uma camada de fita isoladora de borracha ("rubber tape").(figs. XVI-3(b) e (c)).

Os fios de enchimento de juta serão atados entre si de forma que os esforços sejam suportados por eles e não pelos condutores e o conjunto a tado com cordel de forma a fazer um molho. O fio de identificação será con duzido através da ligação debaixo daquela atadura.(fig. XVI-3(d)).

Se os condutores do aparelho tiverem um fio de identificação os dois serão soldados.

Far-se-á depois um ensaio com o aparelho de medição para verificar se as ligações estão bem feitas.

Em seguida, o cabo no local da ligação será mergulhado em massa iso lante ("General Electric Cable Joint Compound nº. 227") a uma temperatura

de cerca de  $190^{\circ}\text{C}$  até estar perfeitamente impregnado (10 minutos), imediatamente depois do que uma camada de fita isoladora de borracha, será aplicada; cada volta da fita isoladora será sobreposta sobre a anterior pelo menos em metade da sua largura.(fig. XVI-3(e)).

Então a ligação será mergulhada rapidamente uma ou duas vezes na massa isolante, até ser formada uma camada de cerca de 2,5 mm de espessura. Depois de retirada da massa isolante, a ligação será mantida na posição horizontal e rodada lentamente até arrefecer o bastante para a massa deixar de escorrer, com o fim de realizar mais uma camada à volta. Depois do arrefecimento uma camada dupla de fita isoladora vulgar será aplicada para protecção (figs. XVI-3(f) e (g)).

Verificou-se por ensaios que no tempo frio (abaixo do ponto de congelação) a massa isolante se tornava quebradiça e que a ligação se partia quando flectida.

Para evitar a flexão, o cabo será enfiado em bainhas de tubos de 1" envolvendo a zona ligada, podendo então este tipo de ligação passar a ser usado em tempo frio.

### 3.4 - Emenda utilizando resina sintética

Em certos casos poderão usar-se nas emendas resinas sintéticas cuja aplicação é cómoda e económica. Até agora não foram, porém, usadas em emendas embebidas no betão mas unicamente em emendas que ficarão ao ar livre.

Um dos produtos que estão actualmente a ser usados em ligações eléctricas em alta e baixa tensão pela indústria é a resina epóxida Isol-C46, fornecida em embalagens de 1 e 2,5 kg, juntamente com o endurecedor, à parte e nas doses convenientes, e com uma espátula. Esta resina tem sido utilizada para fazer caixas de transição, caixas terminais exteriores e interiores, tês de derivação etc., com cabos isolados a papel, borracha, plásticos, cabos armados ou não, subterrâneos, submarinos e exteriores. As ope



rações de aplicação da resina podem resumir-se nas seguintes fases:

a) Mexer o conteúdo do recipiente da resina para boa uniformização do produto.

b) Juntar o endurecedor Isol-C46 (40 g para 1 kg de resina, 90 g para 2,5 kg de resina).

c) Mexer cuidadosamente durante 1 a 2 minutos. Como o endurecimento é devido à reação química entre o endurecedor e a resina é indispensável que os dois produtos se encontrem completamente misturados para que o endurecimento seja total e uniforme em toda a massa. Uma mistura mal feita pode dar origem a pontos com massa mole por falta de endurecimento.

d) Uma vez a mistura bem feita, vaziar no molde dentro do prazo de 1/2 hora. A partir deste período a resina começa a endurecer. O vazamento deve ser feito de modo que a resina escorra por uma das paredes do molde e comece a enchê-lo gradual e lentamente para expulsar todo o ar.

e) O tempo de endurecimento é função da temperatura ambiente e da quantidade de resina vazada. Quanto maior a quantidade de massa mais rápido é o endurecimento. Como tempo de base para endurecimento de 1 kg de resina indica-se

a 20°C	14 - 24 horas
a 40°C	5 - 7 horas
a 70°C	1 - 3 horas
a 100°C	10 - 30 minutos .

f) Na desmoldagem, se pretendermos a separação da resina do molde, deve tratar-se a superfície deste com um produto que evite a aderência, como ceras em solventes orgânicos e resinas de silicone.

g) Esta resina pode aplicar-se com cabos isolados.

Na fig. XVI-4 pode ver-se o aspecto de uma ligação de dois cabos, com o molde, sem o molde e depois do ensaio de rotura à tracção.

Antes da aplicação da resina deve proceder-se como se indica nas figs. XVI-3(b),(c) e (d).

#### 4 - COLOCAÇÃO E TRAJECTÓRIA DOS CABOS

A colocação dos cabos na barragem, antes de ficarem mergulhados no betão exige cuidados especiais para evitar a sua danificação.

Convém que o cabo em todo o seu percurso fique amarrado a troços de varão chumbados ao betão, na base da camada onde estão a ser colocados os aparelhos. Deve manter-se uma vigilância especial durante a colocação para evitar que o pessoal corte os cabos com as suas ferramentas de trabalho. Por outro lado é necessário que a colocação do betão e sobretudo a vibração sejam feitas com cuidado para evitar que o betão deslize demasiado e exerça, assim, esforços demasiado violentos sobre os cabos.

Como as leituras se fazem geralmente no paramento de jusante, ou em galerias, ou no coroamento, os cabos para atingirem esses pontos, ou saem de nível, ou sobem, ou descem. É, porém, mais aconselhável fazê-los descer, pois ficam, assim, imediatamente na sua posição definitiva. Consegue-se isto, instalando no betão tubos, por exemplo de fibrocimento ( $\varnothing=30$  cm), dentro dos quais se faz descer os cabos. É conveniente, após a introdução dos cabos no tubo, tapar a entrada deste com desperdício ou outro material qualquer para evitar que o betão penetre no mesmo.

O tubo deve ter na sua entrada uma curva que estabeleça a transição entre a direcção horizontal e a vertical a fim de facilitar a entrada dos cabos no tubo e não os submeter a esforços de corte nas arestas vivas do tubo.

#### 5 - LIGAÇÃO AO QUADRO DE LEITURA

Uma vez estendido o cabo até ao local de leitura o aparelho a ligar ao quadro será ensaiado para verificar se está em boas condições e

a resistência dos condutores do cabo medida e registada. A maior diferença de resistência admissível entre os dois condutores usados nos circuitos de medida será de  $0,05 \Omega$  na aparelhagem Carlson e nos termómetros de resistência. Em toda a outra aparelhagem podem admitir-se diferenças maiores.

Todos os aparelhos antes da sua colocação devem estar bem identificados quer no princípio, quer no fim do cabo condutor, para que não possa haver enganos na posição em que ficarem embebidos no betão. Convém que essa identificação seja feita por meio de etiquetas, de preferência metálicas, para evitar que sejam destruídas, quer durante o transporte quer durante a colocação. Essas etiquetas serão dobradas em forma circular e apertadas no cabo. É importante que a etiqueta na extremidade do cabo não se perca pois é a única forma de identificação do aparelho depois da colocação.

Feita a verificação do funcionamento do aparelho, procede-se à sua ligação ao quadro de leitura. Acontece, porém, que, por vezes, não é possível, por razões ligadas com a construção da obra, fazer imediatamente a montagem dos quadros terminais. Neste caso há que tomar precauções especiais para o isolamento das extremidades dos cabos. Em primeiro lugar é necessário que as extremidades dos cabos não fiquem no chão onde quase sempre escorre água em abundância. Os cabos devem ficar enrolados em local elevado onde não seja possível molharem-se. Pode porém acontecer que os cabos tenham que ficar temporariamente mergulhados como é o caso da passagem de uma cheia. Nesse caso deve proceder-se ao isolamento das extremidades dos cabos, mantendo-os durante 10 minutos em parafina a  $95^{\circ}\text{C}$  depois do que se procede ao enrolamento com fita isoladora de borracha que se mergulha depois em massa isolante. Esta deixa-se secar depois do que se aplica nova camada de fita isoladora de borracha à qual se seguirá novo banho com massa isolante.

Os quadros de leitura, dos quais se pode ver um exemplo na fig.XVI-5

estão equipados com tomadas quadripolares, tripolares ou bipolares conforme o cabo tem quatro, três ou dois condutores. Os próprios pares termoelétricos podem ser ligados às tomadas bipolares, apesar de os terminais serem de latão. O único cuidado a ter consiste em utilizar na ligação à ficha que se introduz na tomada cabo igual ao do par termoelétrico, como já se viu atrás.

Para efectuar a ligação do cabo ao quadro procede-se como se indica na fig. XVI-6 para o que se deve retirar o isolamento em 15 mm de cada condutor e estanhá-los fortemente antes de os ligar aos terminais respectivos.

Na fig. XVI-7 está representada a ficha quadripolar para ligação às tomadas quadripolares, estudada no L.N.E.C. e em uso nas barragens portuguesas.

Os extensómetros de dupla corda podem ser ligados às tomadas quadripolares mas deverá usar-se nas leituras fichas bipolares ou um sistema de ligações de bananas pois, como vimos, os circuitos dos dois electroímans são independentes. Os quadros deverão ficar instalados em caixas que se deixam no betão, protegidas por portas metálicas como se indica na fig. XVI-8.

SIMBOLOGIA DA APARELHAGEM

DE

OBSERVAÇÃO

## PREÂMBULO

1. Este documento resultou duma especificação recentemente elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a sua actividade interna, mas a que foi dada audiência nacional, pela participação crítica e colaborante das principais entidades portuguesas relacionadas com o assunto.

A especificação serviu de base a um documento preliminar que foi apresentado aos membros da Subcomissão, para apreciação. As suas sugestões foram, quanto possível, tidas em conta na elaboração do presente documento.

2. Com a diferenciação da técnica de observação de obras e dos sectores nela interessados, foi-se acentuando a conveniência de dispor dum corpo de simbologia que evite o repetido trabalho de improvização para casos idênticos e, pelo emprego continuado, facilite a compreensão dos desenhos e esquemas.

Esta normalização destina-se a ser aplicada em todos os planos e relatórios de observação que haja necessidade de elaborar, bastando, para a restringir ao domínio das barragens, eliminar alguns (poucos) aparelhos ou dispositivos que lhe não dizem respeito.

3. As preocupações que dominaram a elaboração do documento foram:

- criar uma sistematização conveniente;
- alcançar a possível uniformização de linguagem, escrita e simbólica.

A sistematização referida consistiu em agrupar os aparelhos e dispositivos mais usados, segundo os tipos de medições para que são especificamente concebidos: medição de deslocamentos, do movimento de juntas ou fendas, de rotações, de extensões, de tensões e pressões, de forças, de

temperaturas, de humidade, de vibrações sísmicas, e ainda outras medições. Alguns casos há, porém, em que é conveniente sintetizar num só símbolo, ou concentrar numa associação de símbolos característica, a indicação de mais do que um tipo ou direcção de medição, realizada por um aparelho ou associação de aparelhos: os casos mais frequentes reúnem-se num capítulo designado "Associação de medições". Inclui-se ainda um capítulo para "equipamento acessório".

Para atingir a uniformização pretendida, adoptou-se na formação dos símbolos o critério seguinte. Procurou-se estabelecer símbolos fundamentais, caracterizando a natureza da medição, e símbolos complementares, caracterizando o princípio de funcionamento. A combinação dos dois tipos de símbolos permite definir a aparelhagem, a menos de particularidades de construção, geralmente inerentes aos diversos fabricantes. Para considerar este último aspecto, pode-se apor as iniciais do fabricante ou outra indicação abreviada.

4. Nalguns casos, apresenta-se mais do que uma designação para o mesmo aparelho ou tipo de aparelhos. Estas alternativas são escritas uma a seguir à outra e separadas por um ponto e vírgula, quando há alteração profunda na designação; quando apenas se pretende indicar alternativa para uma parte da designação, ela é escrita imediatamente a seguir, entre parêntesis e precedida de "ou". Sempre que possível, estas alternativas foram postas na simbologia geral, não se repetindo na discriminação dos diversos aparelhos, onde foi escolhida a designação que pareceu mais conveniente. Também se utiliza a partícula "ou" para separar as designações nos raros casos em que o mesmo símbolo representa dois aparelhos com funções diferentes mas afins.

Por vezes, foram escritas também entre parêntesis indicações sobre o campo de aplicação ou o tipo de funcionamento do aparelho.

## AVANT-PROPOS

1. Le présent document a son origine dans une spécification préparée au Laboratório Nacional de Engenharia Civil, compte-tenu des apports des organismes portugais intéressés à la question.

Cette spécification a servi de base à un rapport préliminaire qui fut présenté aux membres du Sous-Comité, pour appréciation. Leurs suggestions ont été prises en considération, autant que possible, dans l'élaboration de ce document-ci.

2. L'extension des moyens et des techniques d'observation des ouvrages a rendu pressant de disposer d'un ensemble de représentations normalisées évitant la multiplication désordonnée des signes conventionnels et facilitant la lecture des dessins et des schémas.

Cette normalisation a été conçue en vue de son application aux plans et rapports d'observation d'ouvrages de tous types. Pour la ramener au domaine des barrages, il suffit d'en retrancher les quelques appareils ou dispositifs qui ne le concernent pas.

3. Dans l'établissement de la normalisation on a cherché:

- à introduire une présentation rationnelle,
- à uniformiser le langage, aussi bien symboles que termes.

La rationalisation de la présentation est obtenue en groupant les appareils et dispositifs les plus employés, suivant les types de mesure pour lesquels ils ont été conçus: mesure de déplacements, d'ouverture des joints ou fissures, de rotations, de déformations unitaires, de contraintes et pressions, de forces, de températures, de l'humidité, de vibrations sismiques et encore d'autres mesures. Toutefois, en certains cas, un symbole unique ou un groupement caractéristique de symboles peut indiquer plus d'un ty



pe ou direction de mesure réalisée avec un appareil ou une association d'appareils: les cas les plus fréquents ont été réunis dans un chapitre "Association de Mesures". On a introduit aussi un chapitre "Appareillage Auxiliaire".

Pour atteindre l'uniformisation en vue, on a adopté dans la formation des symboles le critère suivant. On a cherché à établir les symboles fondamentaux relatifs à la fonction, puis les symboles complémentaires caractérisant le mode de fonctionnement. La combinaison des deux permet de définir l'appareillage, à l'exclusion des particularités de construction généralement propres aux divers fabricants. Pour prendre en compte ce dernier aspect, on peut mettre les initiales du fabricant à côté du symbole, ou quelque indication en abrégé.

4. En certains cas, on a fait figurer plus d'une désignation pour le même appareil ou type d'appareil; ces désignations sont écrites l'une à côté de l'autre et séparées par un point-virgule lorsqu'il y a une différence marquante entre elles; lorsqu'elles ne diffèrent que partiellement, la variante est écrite immédiatement après, entre parenthèses et précédée de "ou". Autant que possible, ces variantes n'ont été considérées que dans la symbologie générale; d'habitude elles ne sont pas répétées dans la liste des différents appareils. On emploie aussi la particule "ou" pour séparer les désignations, dans les cas peu fréquents où le même symbole représente deux instruments ayant des fonctions différentes quoique similaires.

Parfois, des indications sur le champ d'application ou le type de fonctionnement de l'appareil figurent entre parenthèses.

## FOREWORD

1. The present document derives from a specification prepared at the Laboratório Nacional de Engenharia Civil after hearing the Portuguese organizations that deal with the matter.

A preliminary report was established in accordance with that specification and was presented to the members of the Sub-Committee for discussion. As far as possible, their suggestions were taken into account in the preparation of the present report.

2. The development of techniques for observation of structures has stressed the need for establishing a series of symbols which would prevent repeated improvisations for identical cases and, by continued use, facilitate better understanding of the drawings and schemes.

The specification is meant to be applied to any plan or report on observations. To restrict it to the field of dams it is only necessary to eliminate a few apparatus or devices not concerned in this field.

3. The main concerns in the preparation of the specification were:

- to create a convenient system;
- to reach possible uniformity in terms and symbols.

The system adopted is to group the apparatus and devices most used according to the particular types of measurement for which they were designed: measurement of displacements, of joint or crack movements, of rotations, of strains, of stresses and pressures, of forces, of temperatures, of humidity and moisture, of earthquake vibrations, and other measurements. There are cases, however, where it is convenient to have one symbol or a given set of symbols for more than one type or direction of measurement carried out by a single apparatus or by a group of apparatus: the commonest cases

are given in one chapter headed "Combined Measurements". A chapter for "Ancillary Equipment" is also included.

In order to obtain uniformity the following criterion has been adopted in the formation of symbols. It was sought to establish basic symbols characterizing the type of measurement and to establish complementary symbols characterizing the principle of operation; the adding of the latter to the former makes it possible to define the apparatus, without speaking of manufacturing details which can easily be shown by adding the manufacturer's initials or other abridged indication.

4. In some cases there is more than one term for the same apparatus or type of apparatus. These terms are written one after the other and separated by a semicolon when they differ greatly; when they are but alternatives for some part of the term they are written immediately afterwards, between brackets and preceded by "or". Whenever possible the alternatives are indicated in the general symbols but they are not repeated in the list of the different apparatus, where only the term considered most suitable is mentioned. The particle "or" is also used to separate the names of the instruments, in the rare cases in which the same symbol represents two instruments which measure two different although akin magnitudes.

In some cases, indications of the field of application or the operating principle of the apparatus have also been written between brackets.

SÍMBOLOS-BASE  
SYMBOLES-BASE  
GENERIC SYMBOLS  
GRUND--SYMBOLE  
SIMBOLI GENERICI  
SIMBOLOS BASICOS

A. deflectómetro  
déflectomètre  
deflectometer  
Verschiebungsmesser  
flessimetro  
flexímetro



B. fio de prumo  
fil à plomb ; pendule  
plumb-line ; plumb-wire  
Pendel ; Lot  
filo a piombo  
péndulo



C. coordinómetro  
coordinètre  
coordinator  
Koordinometer  
coordinometro  
coordinímetro



D. alongámetro  
déformètre  
movable strain meter ; deformer  
Setzdehnungsmesser  
deformometro  
elongámetro ; extensómetro











E. medidor de juntas  
appareil pour mesurer des joints ; dilatomètre  
joint meter  
Fugenmesser  
dilatometro per giunti  
elongámetro de junta ; extensómetro de junta



F. clinómetro  
clinomètre  
clinometer  
Klinometer ; Neigungsmesser  
clinometro  
clinómetro



- G. extensômetro na superfície  
 extensometre en surface  
 strain meter at the surface  
 Oberflächendehnungsmesser  
 estensimetro esterno  
 extensômetro exterior 
- H. camada aderente  
 couche adhérente ; vernis  
 adhesive coating  
 Lackschicht  
 strato superficiale vernice  
 barniz 
- I. extensômetro no interior  
 extensometre noyé (ou interne)  
 internal strain meter  
 Innendehnungsmesser  
 estensimetro interno (o anegato)  
 extensômetro interior 
- J. tensômetro de folheto  
 tensometre à feuillet  
 plate stress meter  
 Plattenspannungsmesser  
 cella (o capsula) tensiometrica  
 célula tensiométrica 
- K. medidor de tensões neutras  
 cellule de pression intersticielle  
 pore-pressure meter ; piezometer  
 Porenwasserdruckmesser  
 misuratore di pressioni neutre  
 medidor de presiones de poro 
- L. medidor de pressões  
 capteur de pressions  
 pressure meter  
 Druckdose  
 misuratore di pressioni ; pressimetro  
 medidor de presiones 
- M. medidor de temperaturas ; termômetro  
 thermomètre  
 thermometer  
 Thermometer  
 termometro  
 termómetro 
- N. higrômetro ou medidor de humidade  
 hygromètre ou humètre  
 hygrometer or moisture meter  
 Feuchtigkeitsmesser  
 igrometro  
 higrômetro 

0. sismógrafo  
sismographe  
seismograph  
Seismograph  
sismografo  
sismógrafo



SÍMBOLOS COMPLEMENTARES  
SYMBOLES COMPLEMENTAIRES  
COMPLEMENTARY SYMBOLS  
ERGÄNZENDE SYMBOLE  
SIMBOLI COMPLEMENTARI  
SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS

Indicação do princípio de funcionamento

Indication du principe de fonctionnement

Indication of the operating principle

Angaben über das Funktionsprinzip

Indicazione del principio di funzionamento

Indicación del principio de funcionamiento

- a. mecânico  
mécanique  
mechanical  
mechanisch  
meccanico  
mecánico



- b. óptico  
optique  
optical  
optisch  
ottico  
óptico



- c. acústico ; de corda vibrante  
acoustique ; à corde vibrante  
vibrating wire  
akustisch ; Messaite  
acustico ; a corda vibrante  
acústico ; de cuerda vibrante



- d. resistência eléctrica  
à résistance électrique  
electrical resistance  
elektrischer Widerstand  
resistenza elettrica  
resistencia eléctrica
- e. resistividade  
à résistivité  
resistivity  
elektrische Leitfähigkeit  
resistività  
de resistividad
- f. indução  
à induction  
inductance  
induktiv  
induttanza  
de inducción
- g. capacidade  
à capacité  
capacitance  
kapazitiv  
capacità  
de capacidad
- h. magnetoestricção  
à magnéto-striction  
magnetostriction  
magnetisch  
magnetostrizione  
magnético
- i. piezoeléctrico  
piézoélectrique  
piezoelectric  
piezoelektrisch  
piezoelettrico  
piezoeléctrico
- j. fotoelástico  
photoélastique  
photoelastic  
photoelastisch  
fotoelastico  
fotoelástico

W

+++

(C)

||

⚡

⚡

⊗

Outras indicações

Autres indications

Other indications

Andere Angaben

Altre indicazioni

Otras indicaciones

k. aparelho amovível  
 appareil amovible  
 movable instrument  
 bewegliches Instrument ; Setzinstrument  
 apparecchio removibile  
 aparato móvil

-----

l. aparelho registador  
 appareil enregistreur  
 recording instrument  
 registrierendes Instrument  
 apparecchio registratore  
 aparato registrador

















m. aparelho compensador (corrector)  
 appareil correcteur  
 compensating instrument  
 Kompensationsmesser ; Nullmesser  
 apparecchio compensatore (isolato)  
 aparato compensador ; corrector





I - MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS  
 MESURE DES DEPLACEMENTS  
 MEASUREMENT OF DISPLACEMENTS  
 MESSUNG VON VERSCHIEBUNGEN  
 MISURA DI SPOSTAMENTI  
 MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS

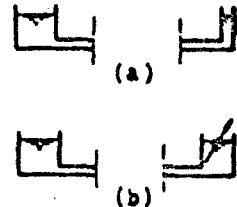
1. deflectômetro, em geral  
 déflectomètre, en général  
 deflector, in general  
 Verschiebungsmesser im allgemeinen  
 flessimetro, in generale  
 flexímetro, en general
 
2. deflectômetro mecânico  
 comparateur ; déflectomètre mécanique  
 dial gauge ; mechanical deflector  
 mechanischer Verschiebungsmesser  
 flessimetro meccanico  
 flexímetro mecánico
 
3. deflectômetro mecânico registador  
 déflectomètre mécanique enregistreur  
 recording mechanical deflector  
 registrierender mechanischer Verschiebungsmesser  
 flessimetro meccanico registratore  
 flexímetro mecánico registrador
 
4. deflectômetro de indução  
 déflectomètre à induction  
 inductance deflector  
 induktiver Verschiebungsmesser  
 flessimetro ad induttanza  
 flexímetro de inducción
 
5. deflectômetro de capacidade  
 déflectomètre à capacité  
 capacitance deflector  
 kapazitiver Verschiebungsmesser  
 flessimetro a capacità  
 flexímetro de capacidad
 
6. fio de prumo mecânico  
 fil à plomb  
 plumb-line  
 Pendel ; Lot  
 filo a piombo  
 péndulo mecánico
 

- |  |   |
|--|---|
| <p>7. fio de prumo óptico<br/>plomb optique<br/>vertical collimator<br/>optisches Lot<br/>fio a piombo ottico<br/>pêndulo óptico</p>   |    |
| <p>8. fio de prumo invertido<br/>pendule inversé ; pendule à flotteur<br/>inverted plumb-line<br/>Auftriebspendel ; Auftriebslot<br/>fio a piombo a rovescio<br/>pêndulo invertido</p>   |    |
| <p>9. fio de fundação<br/>fil de fondation<br/>foundation wire<br/>Fundationsmessdraht<br/>telemisuratore di profondità a filo ; filo di fondazione<br/>hilo de cimentación</p>  |    |
| <p>10. barra de fundação<br/>tige de fondation<br/>foundation bar<br/>Fundationsmesstab<br/>slittometro ; misuratore di profondità a barra<br/>barra de cimentación</p>  |   |
| <p>11. coordenômetro, em geral ou base de coordenômetro amovível<br/>coordinètre, en général ou base de coordinètre amovible<br/>coordinator, in general or movable-coordinator base<br/>Koordinmeter i. allg. oder Messtelle für bewegliches Koordinmeter<br/>stazione di appoggio per coordinometro<br/>base de coordinmetro móvil</p> |  |
| <p>12. coordenômetro mecânico<br/>coordinètre mécanique<br/>mechanical coordinator<br/>mechanisches Koordinmeter<br/>coordinometro meccanico<br/>coordinmetro mecánico</p>   |  |
| <p>13. coordenômetro óptico<br/>coordinètre optique<br/>optical coordinator<br/>optisches Koordinmeter<br/>coordinometro ottico<br/>coordinmetro óptico</p>  |  |
| <p>14. coordenômetro de indução<br/>coordinètre à induction<br/>inductance coordinator<br/>induktives Koordinmeter<br/>coordinometro ad induttanza<br/>coordinmetro de inducción</p>   |  |

15. coordiñometro registador  
coordimètre enregistreur  
recording coordinator  
registrierendes Koordimeter  
coordinometro registratore  
coordimetro registrador



16. nível hidrostático a) com leitura directa  
b) com registador  
système de vases communicants a) à lecture directe  
b) enregistreur  
liquid levelling system a) direct reading  
b) recording  
kommunizierend Röhren a) mit Direktablesung  
b) registrierend  
livello a vasi comunicanti a) lettura diretta  
b) registratore  
a) limnómetro  
b) limnógrafo



Método geodésico

Méthode géodésique

Geodetic method

Geodätische Methode

Metodo geodetico

Metodo geodesico

17. marca de pontaria fixa  
voyant fixe  
fixed sight  
fester Zielpunkt  
mira fissa  
mira fija



18. marca de pontaria móvel  
voyant amovible  
movable sight  
beweglicher Zielpunkt  
mira mobile  
mira móvil



19. marca de nivelamento  
repère de nivellement  
geodetic bench-mark  
Nivellementsbolzen  
borchia (o caposaldo) di livellazione  
referencia de nivelaciõn



20. marca de nivelamento, de partida  
 repère de nivellement, origine  
 geodetic bench-mark, datum  
 Nivellements-Fixpunkt  
 borchia (o caposaldo) di riferimento di livellazione  
 referencia de nivelación inicial



21. pilar de observação  
 pilier d'observation  
 observation pillar  
 Beobachtungspfeiler  
 pilastro di osservazione  
 pilar de observación



22. pilar de observação e de partida  
 pilier d'observation, origine  
 observation pillar, datum  
 Ausgangspfeiler  
 pilastro di osservazione di riferimento  
 pilar de observación inicial



23. base de triangulação  
 base de triangulation  
 base-line  
 Basislinie  
 base di triangolazione  
 base de triangulación



II - MEDIÇÃO DO MOVIMENTO DE JUNTAS OU FENDAS  
 MESURE D'OUVERTURE DES JOINTS OU FISSURES  
 MEASUREMENT OF JOINT OR CRACK MOVEMENTS  
 MESSUNG VON FUGEN- ODER RISSBEWEGUNGEN  
 MISURA DELLO SPOSTAMENTO DEI GIUNTI  
 MEDICION DEL MOVIMIENTO DE JUNTAS O GRIETAS

24. base de medidor de juntas amovível (ou de alongâmetro)  
 base de déformètre  
 deformeter base  
 Bolzen für Setzdehnungsmesser  
 sede del deformometro  
 base de elongâmetro de junta



25. bases de alongâmetro para medição de abertura e deslizamento  
 bases de déformètre pour mesurer l'ouverture et le glissement  
 deformeter bases for measuring joint or crack movements  
 Bolzen für zweidimensionale Fugenmessung  
 sede del deformometro per il rilievo dell'apertura e  
 dello scorrimento  
 bases de elongâmetro para medir apertura y deslizamiento

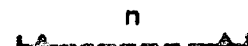


26. medidor de juntas, em geral  
 dilatometre, en général  
 joint meter, in general  
 Fugendehnungsmesser ; Dilatometer im allgemeinen  
 dilatometro per giunti, in generale  
 elong metro de junta
27. medidor de juntas, acústico  
 dilatometre acoustique  
 vibrating wire joint meter  
 akustisches Dilatometer  
 teledilatometro acustico per giunti  
 elong metro de junta acústico
28. medidor de juntas, de resist ncia  
 dilatometre   résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) joint meter  
 Widerstands-Dilatometer  
 teledilatometro a resistenza per giunti  
 elong metro de junta de resistencia



III - MEDI A DE ROTA ES  
 MESURE DES ROTATIONS  
 MEASUREMENT OF ROTATIONS  
 DREHUNGSMESSUNGEN  
 MISURA DELLE ROTAZIONI  
 MEDICION DE GIROS

29. base de clinómetro  
 base de clinomètre  
 clinometer base  
 Klinometerbasis  
 base del clinometro  
 base de clinómetro
30. cadeia de n bases de clinómetro  
 chaîne de n bases de clinomètre  
 chain of n clinometer bases  
 Kette von n Klinometer-Messtrecken  
 catena di n basi del clinometro  
 sucesión de n bases de clinómetro



31. clin grafo  
 clinographe  
 clinograph  
 Klinograph  
 clinografo  
 clin grafo



32. flexímetro  
fleximètre  
flexure meter  
Drehungsmesser  
flessiometro  
flexímetro



IV - MEDIÇÃO DE EXTENSÕES  
MESURE DES DEFORMATIONS UNITAIRES  
MEASUREMENT OF STRAINS  
DEHNUNGSMESSUNGEN  
MISURA DI DEFORMAZIONI  
MEDICION DE DEFORMACIONES

Na superfície

En surface

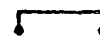
At the surface

An der Oberfläche

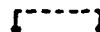
In superficie

En la superficie

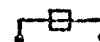
33. extensômetro, em geral  
extensomètre, en général  
strain meter, in general  
Dehnungsmesser im allgemeinen  
estensimetro, in generale  
extensômetro, en general



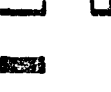







34. base de extensômetro amovível (ou de alongâmetro)  
base pour comparateur amovible  
base of movable strain meter  
Bolzen für Dehnungsmesser  
base dell'estensimetro removibile  
extensômetro móvil

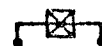


35. extensômetro mecânico  
extensomètre mécanique  
mechanical strain meter  
mechanischer Dehnungsmesser  
estensimetro meccanico  
extensômetro mecânico



36. extensômetro óptico  
 extensomètre optique  
 optical strain meter  
 optischer Dehnungsmesser  
 estensimetro ottico  
 extensômetro óptico 
37. extensômetro acústico ; corda vibrante  
 extensomètre acoustique ; corde vibrante  
 vibrating wire strain meter  
 akustischer Dehnungsmesser ; Messaite  
 estensimetro a corda vibrante (o elettroacustico)  
 extensômetro acústico ; cuerda vibrante 
38. extensômetro elétrico de resistêcia, colado  
 jauge à fil résistant  
 strain gauge : bonded wire or etched foil  
 aufgeklebter elektrischer Dehnungsgeber  
 estensimetro elettrico a resistenza incollato  
 extensômetro elétrico de resistencia, adherido 
39. extensômetro elétrico de resistêcia, não colado  
 extensomètre à résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) strain meter  
 Widerstands-Dehnungsmesser  
 estensimetro elettrico a resistenza non incollato  
 extensômetro elétrico de resistencia, no adherido 
40. extensômetro de indução  
 extensomètre à induction  
 inductance strain meter  
 induktiver Dehnungsmesser  
 estensimetro ad induttanza  
 extensômetro de inducción 
41. extensômetro de capacidade  
 extensomètre à capacité  
 capacitance strain meter  
 kapazitiver Dehnungsmesser  
 estensimetro a capacità  
 extensômetro de capacidad 
42. extensômetro de magnetoestricção  
 extensomètre à magnéto-striction  
 magnetic strain meter  
 magnetischer Dehnungsmesser  
 estensimetro a magnetostrizione  
 extensômetro magnético 
43. extensômetro piezoelétrico  
 extensomètre piézoélectrique  
 piezoelectric strain meter  
 piezoelektrischer Dehnungsmesser  
 estensimetro piezolettrico  
 extensômetro piezoelétrico 

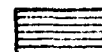
44. extensômetro fotoelástico  
 extensomètre photoélastique  
 photoelastic strain meter  
 photoelastischer Dehnungsmesser  
 estensimetro fotoelastico  
 extensômetro fotoelástico



45. camada aderente fotoelástica  
 vernis photoélastique  
 photoelastic coating  
 photoelastischer Anstrich  
 vernice fotoelastica  
 barniz fotoelástico



46. camada aderente frágil  
 vernis craquelant  
 brittle coating  
 Reisslack  
 vernice fragile  
 barniz frágil



No interior

Noyés

Inside

Im Innern

Interno

En el interior

47. extensômetro, em geral  
 extensomètre, en général  
 strain meter, in general  
 Dehnungsmesser im allgemeinen  
 estensimetro, in generale  
 extensômetro, en general











48. extensômetro de grande base (para fundações)  
 extensomètre à grande base (pour fondations)  
 long strain meter (for foundations)  
 Foundations-Dehnungsmesser mit langer Messtrecke  
 estensimetro a grande base  
 extensômetro de base amplificada (para cimientos)



49. extensômetro acústico  
 extensomètre acoustique  
 vibrating wire strain meter  
 akustischer Dehnungsmesser  
 estensimetro elettroacustico  
 extensômetro acústico





50. extensômetro elétrico de resistência  
 jauge à fil résistant  
 strain gauge  
 Widerstandsmesstreifen  
 estensimetro elettroacustico a resistenza  
 extensômetro elétrico de resistencia
- 
51. extensômetro de resistência (elétrica)  
 extensomètre à résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) strain meter  
 Widerstands-Dehnungsmesser  
 estensimetro a resistenza elettrica  
 extensômetro de resistencia (eléctrico)
- 
52. extensômetro de indução  
 extensomètre à induction  
 inductance strain meter  
 induktiver Dehnungsmesser  
 estensimetro ad induttanza  
 extensômetro de inducción
- 
53. extensômetro de capacidade  
 extensomètre à capacité  
 capacitance strain meter  
 kapazitiver Dehnungsmesser  
 estensimetro a capacità  
 extensômetro de capacidad
- 
54. extensômetro de magnetoestricção  
 extensomètre à magnéto-striction  
 magnetic strain meter  
 magnetischer Dehnungsmesser  
 estensimetro a magnetostrizione  
 extensômetro magnético
- 
55. extensômetro piezoelétrico  
 extensomètre piézoélectrique  
 piezoelectric strain meter  
 piezoelektrischer Dehnungsmesser  
 estensimetro piezoelettrico  
 extensômetro piezoeléctrico
- 
56. extensômetro corrector  
 extensomètre correcteur  
 stress-free strain meter  
 Kompensations- oder Nulldehnungsmesser  
 estensimetro compensatore (isolato)  
 extensômetro compensador
- 
57. célula de fluência  
 cellule de fluage  
 creep cell  
 Kriech-Messblock  
 cella di scorrimento  
 célula de fluencia
- 

## V - MEDIÇÃO DE TENSÕES E PRESSÕES

MESURE DE CONTRAINTES ET PRESSIONS

MEASUREMENT OF STRESSES AND PRESSURES

SPANNUNGS- UND DRUCKMESSUNG

MISURE DI PRESSIONI E TENSIONI

MEDICION DE TENSIONES Y PRESIONES

58. tensômetro alongado (acústico)  
 tensomètre (ou inclusion) rigide  
 rigid stress meter (vibrating wire)  
 Stabspannungsmesser (Messaite)  
 tensiometro allungato elettroacustico  
 tensímetro
59. tensômetro de folheto, em geral  
 tensomètre à feuillet, en général  
 plate stress meter, in general  
 Plattenspannungsmesser im allgemeinen  
 cella tensiometrica, in generale  
 tensímetro de membrana, en general
60. tensômetro de folheto, de pressão de óleo  
 tensomètre à pression d'huile  
 oil pressure stress meter  
 Oeldruck-Spannungsmesser  
 cella tensiometrica a pressione d'olio  
 tensímetro de membrana, de presión de aceite
61. tensômetro de folheto, acústico  
 tensomètre acoustique  
 vibrating wire stress meter  
 akustischer Spannungsmesser  
 cella tensiometrica elettroacustica  
 tensímetro de membrana, acústico
62. tensômetro de folheto, de resistência  
 tensomètre à résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) stress meter  
 Widerstands-Spannungsmesser  
 cella tensiometrica a resistenza  
 tensímetro de membrana, de resistencia eléctrica
63. tensômetro de folheto, piezoelétrico  
 tensomètre piézoélectrique  
 piezoelectric stress meter  
 piezoelektrischer Spannungsmesser  
 cella tensiometrica piezoelettrica  
 tensímetro de membrana, piezoelétrico



64. medidor de tensões neutras, em geral  
 capteur de pressions neutres, en général  
 pore-pressure meter, in general  
 Porenwasserdruckmesser im allgemeinen  
 misuratore di pressioni neutre, in generale  
 medidor de presiones de poro, en general
65. medidor de tensões neutras, de pressão de óleo  
 capteur de pressions neutres, à pression d'huile  
 oil pressure pore-pressure meter  
 Oeldruck-Porenwasserdruckmesser  
 misuratore di pressioni neutre a pressione d'olio  
 medidor de presión de aceite
66. medidor de tensões neutras, acústico  
 capteur de pression neutres, acoustique  
 vibrating wire pore-pressure meter  
 akustischer Porenwasserdruckmesser  
 misuratore di pressioni neutre elettroacustico  
 medidor acústico
67. medidor de tensões neutras, de resistência  
 capteur de pressions neutres, à résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) pore-pressure meter  
 Widerstands-Porenwasserdruckmesser  
 misuratore di pressioni neutre a resistenza  
 medidor de resistencia eléctrica
68. medidor de pressões, em geral  
 capteur de pressions, en général  
 pressure meter, in general  
 Druckdose im allgemeinen  
 misuratore di pressioni, in generale  
 medidor de presiones, en general
69. manómetro  
 manometre  
 manometer  
 Manometer  
 manometro  
 manómetro
70. medidor de pressões, de resistência  
 capteur de pressions, à résistance électrique  
 resistance (or elastic wire) pressure meter  
 Widerstands-Druckdose  
 misuratore di pressioni a resistenza  
 medidor de presiones de resistencia eléctrica
71. medidor de pressões, de indução  
 capteur de pressions, à induction  
 inductance pressure meter  
 induktive Druckdose  
 misuratore di pressioni ad induttanza  
 medidor de presiones de inducción



72. medidor de pressões, de capacidade  
 capteur de pressions, à capacité  
 capacitance pressure meter  
 kapazitive Druckdose  
 misuratore di pressioni a capacità  
 medidor de presiones de capacidad



73. medidor de pressões, piezoelétrico  
 capteur de pressions, piézoélectrique  
 piezoelectric pressure meter  
 piezoelektrische Druckdose  
 misuratore di pressioni piezoelettrico  
 medidor de presiones piezoelétrico



74. tubo piezométrico  
 tube piézométrique  
 piezometer tube  
 Piezometerrohr  
 tubo piezometrico  
 tubo piezométrico ; piezómetro



75. tomada de subpressão num furo  
 prise de sous-pression dans un trou  
 uplift pressure pick-up in a hole  
 Bohrloch-Auftriebsmessung  
 presa di sottopressioni in un tubo  
 toma de subpresión en un taladro



76. tomada de subpressão numa junta  
 prise de sous-pression dans un joint  
 uplift pressure pick-up at a joint  
 Oberflächen-Auftriebsmessung  
 presa di sottopressioni su una superficie  
 toma de subpresión en una junta



## VI - MEDIÇÃO DE FORÇAS

MESURE DE FORCES

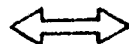
MEASUREMENT OF FORCES

MESSUNG VON KRAFTEN

MISURA DI FORZE

MEDICION DE FUERZAS

77. dinamómetro  
 dynamomètre  
 dynamometer  
 Dynamometer  
 dinamometro  
 dinamómetro



VII - MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS  
MESURE DE TEMPERATURES  
MEASUREMENT OF TEMPERATURES  
TEMPERATURMESSUNGEN  
MISURA DI TEMPERATURA  
MEDICION DE TEMPERATURAS

78. medidor de temperaturas, em geral  
thermomètre, en général  
thermometer, in general  
Thermometer im allgemeinen  
termometro, in generale  
termómetro, en general
79. termómetro de resistência no interior  
thermomètre à résistance, noyé  
resistance thermometer inside  
Widerstandsthermometer im Innern  
termometro a resistenza interno  
termómetro de resistencia en el interior
80. termómetro de resistência no paramento de montante  
thermomètre à résistance, en parement amont  
resistance thermometer at the upstream face  
Widerstandsthermometer an der Wasserseite  
termometro a resistenza al paramento a monte  
termómetro de resistencia en paramento de agua arriba
81. termómetro de resistência no paramento de jusante  
thermomètre à résistance, en parement aval  
resistance thermometer at the downstream face  
Widerstandsthermometer an der Luftseite  
termometro a resistencia al paramento a valle  
termómetro de resistencia en paramento de agua abajo
82. termómetro de resistência no ar ou na água  
thermomètre à résistance, dans l'air ou dans l'eau  
resistance thermometer in the air or in the water  
Widerstandsthermometer an der Luft oder im Wasser  
termometro a resistenza nell'aria o nell'acqua  
termómetro de resistencia en el aire o en el agua
83. par termoelétrico no interior  
thermo-couple noyé  
thermocouple inside  
Thermoelement im Innern  
termocoppia interno  
par termoeléctrico en el interior

84. par termoelétrico no paramento de montante  
thermo-couple en parement amont  
thermocouple at the upstream face  
Thermoelement an der Wasserseite  
termocoppia al paramento a monte  
par termoelétrico en el paramento de agua arriba
85. par termoelétrico no paramento de jusante  
thermo-couple en parement aval  
thermocouple at the downstream face  
Thermoelement an der Luftseite  
termocoppia al paramento a valle  
par termoelétrico en el paramento de agua abajo
86. par termoelétrico no ar ou na água  
thermo-couple dans l'air ou dans l'eau  
thermocouple in the air or in the water  
Thermoelement an der Luft oder im Wasser  
termocoppia nell'aria o nell'acqua  
par termoelétrico en el aire o en el agua
87. termógrafo de resistência  
thermographe à résistance  
resistance thermograph  
Widerstands-Thermograph  
termometro registratore a resistenza  
termógrafo de resistencia

## VIII - MEDIÇÃO DE HUMIDADE

MESURE DE L'HUMIDITE

MEASUREMENT OF HUMIDITY AND MOISTURE

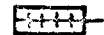
FEUCHTIGKEITSMESSUNG

MISURA DELL'UMIDITÀ

MEDICION DE LA HUMEDAD

88. higrómetro ou medidor de humidade, em geral  
hygromètre ou humètre, en général  
hygrometer or moisture meter, in general  
Hygrometer im allgemeinen  
igrometro, in generale  
higrómetro, en general
89. higrómetro de cabelo  
hygromètre à cheveux  
hair hygrometer  
Haarhygrometer  
igrometro a capello  
higrómetro de cabello

90. célula higrométrica acústica  
 cellule hygrométrique acoustique  
 vibrating wire hygrometer  
 akustischer Hygrometer  
 cella igrometrica a corda vibrante  
 higrómetro acústico
91. medidor de humidade, de resistência  
 humètre à résistance électrique  
 resistance moisture meter  
 Widerstands-Hygrometer  
 misuratore di umidità a resistenza  
 higrómetro de resistencia eléctrica
92. medidor de humidade, de resistividade  
 humètre à résistivité  
 resistivity moisture meter  
 Leitfähigkeits-Hygrometer  
 misuratore di umidità a resistività  
 higrómetro de resistividad



IX - MEDIÇÕES SÍSMICAS  
 MESURES SISMIQUES  
 MEASUREMENT OF EARTHQUAKE VIBRATIONS  
 SEISMISCHE MESSUNGEN  
 MISURA DI VIBRAZIONI SISMICHE  
 MEDIDAS SISMICAS

93. sismógrafo, em geral  
 sismographe, en général  
 seismograph, in general  
 Seismograph im allgemeinen  
 sismografo, in generale  
 sismógrafo, en general
94. macrossismógrafo  
 sismographe pour de grandes secousses  
 strong motion seismograph  
 Seismograph für starke Stösse  
 sismografo per terremoti forti  
 sismógrafo para grandes sacudidas
95. sismógrafo para medição de deslocamentos  
 sismographe pour mesurer des déplacements  
 displacement seismograph  
 Seismograph für Verschiebungsmessungen  
 sismografo per rilievo di spostamenti  
 sismógrafo para medir recorridos



96. sismógrafo para medição de velocidades  
 sismographe pour mesurer des vitesses  
 velocity seismograph  
 Seismographe für Geschwindigkeitsmessungen  
 sismografo per rilievo di velocità  
 sismógrafo para medir velocidades
97. sismógrafo para medição de acelerações  
 sismographe pour mesurer des accélérations  
 acceleration seismograph  
 Seismograph für Beschleunigungsmessungen  
 sismografo per il rilievo di accelerazioni  
 sismógrafo para medir aceleraciones
98. sismógrafo mecânico  
 sismographe mécanique  
 mechanical seismograph  
 mechanischer Seismograph  
 sismografo meccanico  
 sismógrafo mecánico
99. sismógrafo electromagnético  
 sismographe à cadre mobile  
 moving coil seismograph  
 Seismograph mit beweglicher Spule  
 sismografo a bobina mobile  
 sismógrafo de cuadro móvil
100. sismógrafo para medição de componentes horizontais  
 sismographe pour mesurer des composantes horizontales  
 horizontal component seismograph  
 Seismograph zur Messung der horizontalen Komponente  
 sismografo per componenti orizzontali  
 sismógrafo para medir componentes horizontales
101. sismógrafo para medição da componente vertical  
 sismographe pour mesurer la composante verticale  
 vertical component seismograph  
 Seismograph zur Messung der vertikalen Komponente  
 sismografo per componenti verticali  
 sismógrafo para medir componentes verticales
102. macrossismógrafo mecânico para medição das três  
 componentes da aceleração  
 sismographe mécanique pour de grandes secousses,  
 trois composantes et accélérations  
 mechanical strong motion, three components,  
 acceleration seismograph  
 mechanischer Seismograph für starke Stöße, drei  
 Komponenten und Beschleunigungen  
 sismografo meccanico per il rilievo di accelera-  
 zioni, a tre componenti, per terremoti forti  
 sismógrafo mecánico para grandes sacudidas, tres  
 componentes y aceleraciones





X - OUTRAS MEDICÕES

AUTRES MESURES

OTHER MEASUREMENTS

ANDERE MESSUNGEN

ALTRE MISURE

OTRAS MEDICIONES

103. ponto de medição com esclerómetro  
point de mesure au moyen du scléromètre  
sclerometer measuring point  
Betonhammer-Messpunkt  
punto di misura con sclerometro  
punto de medida com esclerómetro
104. ponto de aplicação do emissor (métodos vibratórios)  
point d'application de l'émetteur (méthodes vibratoires)  
sending station (vibratory methods)  
Sender-Standort (Vibrationsmessung)  
punto di applicazione della sorgente emittente (metodi  
vibratori)  
punto de aplicación del emisor (métodos vibratorios)
105. ponto de aplicação do receptor (métodos vibratórios)  
point d'application du récepteur (méthodes vibratoires)  
receiving station (vibratory methods)  
Empfänger-Standort (Vibrationsmessung)  
punto de applicazione del ricevitore (metodi vibratori)  
punto de aplicación del receptor (métodos vibratorios)

XI - ASSOCIAÇÃO DE MEDIÇÕES

ASSOCIATION DE MESURES

COMBINED MEASUREMENTS

KOMBINIERTE MESSUNGEN

MISURE COMBinate

MEDICIONES COMBINADAS

106. fio de prumo com observação geodésica  
fil à plomb utilisé pour l'observation géodésique  
plumb-line used for geodetical observation  
für geodätische Messung verwendetes Pendel  
filo a piombo con osservazione geodetica  
péndulo con observación geodética

107. fio de prumo com nivelamento  
 fil à plomb utilisé pour le nivellement  
 plumb-line used for levelling  
 für Höhenmessung verwendetes Pendel  
 filo a piombo per rilevamenti altimetrici  
 péndulo con nivelación



108. base de coordinómetro e de clinómetro  
 base de coordimètre et clinomètre  
 coordinator-clinometer base  
 kombinierte Koordimeter- und Klinometer-Messtelle  
 base del coordinometro e del clinometro  
 base de coordímetro y de clinómetro



109. termo-extensómetro (de resistênciã)  
 thermo-extensomètre  
 thermal strain meter  
 Thermodehnungsmesser  
 termoestensimetro  
 extensómetro con medición de temperaturas



Grupos de extensómetros embebidos

Groupes d'extensomètres noyés

Groups of embedded strain meters

Gruppe von eingebauten Dehnungsmessern

Gruppi di estensimetri annegati

Grupos de extensómetros embebidos

110. grupo bidimensional de 4 extensómetros  
 groupe plan de 4 extensomètres  
 two-dimensional group of 4 strain meters  
 zweidimensionale Gruppe von 4 Dehnungsmessern  
 gruppo bidimensionale a 4 estensimetri  
 grupo bidimensional de 4 extensómetros



111. grupo bidimensional de 4 extensómetros, mais 1 normal  
 ao plano e 1 corrector  
 groupe plan de 4 extensomètres, plus 1 normal au plan  
 et 1 correcteur  
 two-dimensional group of 4 strain meters plus 1 normal  
 to the plane and 1 stress-free meter  
 zweidimensionale Gruppe von 4 Dehnungsmessern mit  
 zusätzlich 1 senkrecht zur Messebene und 1 Null-  
 -Instrument  
 gruppo bidimensionale di 4 estensimetri più uno normale  
 al piano ed uno compensatore (isolato)  
 grupo bidimensional de 4 extensómetros más uno normal  
 al plano y uno corrector



112. grupo tridimensional de n extensómetros, mais 1 corrector  
 groupe tridimensionnel de n extensomètres, plus 1 correcteur  
 three-dimensional group of n strain meters plus 1 stress-free meter  
 dreidimensionale Gruppe von n Dehnmessern und zusätzlich 1 Null-Instrument  
 gruppo tridimensionale di n estensimetri più un compensatore (isolato)  
 grupo tridimensional de n extensómetros y uno corrector

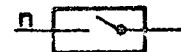


XII - EQUIPAMENTO ACESSÓRIO  
 APPAREILLAGE AUXILIAIRE  
 ANCILLARY EQUIPMENT  
 ZUSÄTZLICHE EINRICHTUNGEN  
 EQUIPAGGIAMENTO ACCESSORIO  
 EQUIPO ACCESORIO

113. macaco  
 vérin  
 jack  
 Winde  
 binda  
 gato



114. caixa de comutação para n circuitos  
 commutateur à n directions  
n circuit switchboard  
 Wahlschalter für n Anschlüsse  
 pannello di selezione a n circuiti  
 conmutador de n circuitos



115. central de leitura  
 station de lecture  
 terminal board  
 Messzentrale  
 centrale di lettura  
 central de lectura



Cabos de condutoresCâbles à conducteursConductor cablesKabelleitungenCavi di collegamentoCables conductores

116. cabo exterior  
 câble extérieur  
 external cable  
 Aussenkabel  
 cavo esterno  
 cable exterior

117. cabo embebido  
 câble noyé  
 embedded cable  
 im Innern verlegte Kabel  
 cavo annegato  
 cable embebido

118. N cabos de n condutores  
N câbles à n conducteurs  
N cables of n conductors  
N Kabel zu n Adern  
N cavi di n conduttori  
N cables de n conductores

Nn

119. N cabos de 2 condutores, sendo um de cobre  
 e outro de constantan  
N câbles à 2 conducteurs, l'un en cuivre,  
 l'autre en constantan  
N cables of two conductors: copper and constantan  
N Kabel zu 2 Adern, eine aus Kupfer, die andere  
 aus Konstantan  
N cavi di 2 conduttori (n. 1 in rame e l'altro in  
 constantana)  
N cables de 2 conductores, siendo uno de cobre  
 y otro de constantán

Na