

26.5

OFERECE  
VICTOR F. B. DE MELLO

GEOTECNICA'S EXPERIENCE IN COMPACTION CONTROL OF  
EARTH DAMS

LA EXPERIENCIA DE LA "GEOTECNICA" EN EL CONTROL DE  
COMPACTACION DE PRESAS DE TIERRA

Prof. Victor F. B. de Mello (1) - Eng. Evelyn B. Souto  
Silveira (2) - Eng. Araken Silveira (3).

Summary: This article is the first of a series intended to summarize GEOTECNICA'S experience in the compaction of earth dams.

The principal compacted earth sections (comprising a total compacted volume of approximately 7.200.000<sup>3</sup> to date in nine dams, ranging in height from 10 to 70m) in which the field engineering and inspection has been conducted by GEOTECNICA are described as regards design details, compaction specifications, and a summary of the soil characteristics. The field inspection techniques employed and the results obtained are presented and discussed. Statistical correlations were established to prove the validity of the inspection test used. In the fine-textured clayey soils that predominate, the best technique developed involves the use of the drive-cylinder combined with Hilf's method (with standard Proctor compaction). Testing precisions are discussed, and the wealth of data accumulated since April 1958 on the use of Hilf's method is summarized.

Sumário: Este articulo es el primero de una serie destinada a resumir la experiencia de la firma GEOTECNICA S/A en el control de compactación de presas de tierra.

Director of Works, GEOTECNICA S/A., Engenheiros Consultores and Professor of Soil Mechanics and Foundation Engineering at the School of Engineering of São Carlos and the Faculty of Architecture of the University of São Paulo, and at the School of Engineering of Mackenzie University, São Paulo, Brasil (1).

Head of Research and Statistics Branch, GEOTECNICA S/A., Engenheiros Consultores, Assistant Professor of Soil Mechanics and Foundation Engineering at the School of Engineering of São Carlos, São Paulo, Brasil (2).

Head of the São Paulo Laboratory, GEOTECNICA S/A., Engenheiros Consultores, São Paulo, Brasil (3).

1st Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Sep.1959, vol.II, pp.637-655.

Las principales secciones de tierra compactada (comprendiendo un volumen compactado total de 7.200.000m<sup>3</sup>, en nueve presas, con intervalo de variación de altura de 10 a 70m) en que la ingeniería de campo y la inspección fueron conducidas por la GEOTECNICA están descritas en lo que se refiere a los detalles de proyecto, especificaciones de compactación y un sumario de las características del suelo. Las técnicas de inspección de campo empleadas y los resultados obtenidos están presentados y discutidos. Fueron establecidas correlaciones estadísticas para probar la validez de los ensayos de inspección usados. En los suelos arcillosos de fina estructura que son predominantes, la mejor técnica desenunciada envuelve el uso del cilindro clavado combinado con el método de Hilf (con compactación Proctor normal). Las precisiones de ensayo son discutidas, y son resumidos los datos acumulados desde Abril de 1958 en el uso del método de Hilf.

1. Introdução: Os métodos de controle de compactação de barragens incluem, não sómente a criteriosa aprovação por parte de fiscais inteiramente capazes de discernir por observação visual e tactil a boa qualidade desejada no atêrro, mas também a realização de ensaios, quer expeditos para aprimorar essa avaliação inevitavelmente qualitativa, quer de natureza mais precisa, embora eventualmente demorada, para a definição apropriada da verdadeira qualidade desse atêrro. Diversas são as referências na literatura internacional sobre esse assunto à aplicação de uns e outros métodos de ensaio sugeridos para esses fins. Não obstante, não pude a nossa organização escapar à necessidade de evoluir lentamente de um método para outro, à medida que o acervo de publicações internacionais e de nossa própria experiência comprovava a relativa praticabilidade e precisão de um método em relação a outro. Julgamos oportuno expôr resumidamente os resultados dessa experiência em benefício de outros que possam ter necessidade de trilhar o mesmo caminho em condições semelhantes às do Brasil. Essa experiência está associada a serviços de controle de compactação de um conjunto de barragens que se acham figurados no desenho 1.

Dos dois principais parâmetros empregados no controle referido, um teve solução satisfatória imediata - o peso específico; o outro sofreu várias modificações até se chegar a um método considerado inteiramente satisfatório, o de Hilf.

## 2 - Determinação do peso específico in situ

A Geotécnica, sempre que possível, tem usado, para determinação do peso específico in situ, o método do cilindro. Este método (ver fig. 2) consiste na cravação de um cilindro de paredes finas (a) no atêrro compactado, por intermédio de um peso (b) que cai ao longo de uma guia (c), sobre uma cabeça (d) apoiada em um colar (e) colocado sobre o cilindro

para assegurar sua integral penetração. Prepara-se a superfície do terreno por remoção de material solto e por raspagem do material compactado até nivelar, e a seguir crava-se o cilindro. A sua retirada se faz mediante a abertura de um buraco em seu redor, procurando-se extraí-lo com excesso de material por baixo, para garantir possibilidade de perfeito acerto do solo dentro do cilindro. Observa-se que o nº de golpes necessários à cravação pode servir como controle adicional, semelhantemente a métodos tais como a Aguiha de Proctor, com a vantagem de incluir logo uma superfície bem maior e portanto menos sujeita às imprecisões que em nossa experiência têm sempre viciado a aplicação desta última.

A adoção do método do cilindro, de preferência a outros correntemente usados (métodos do óleo, da areia, etc) baseou-se em seu caráter mais prático (mais simples e rápido) e sua validade foi apoiada inicialmente em algumas comprovações de pesos específicos obtidos por esse processo em comparação com pesos específicos de alguns blocos indeformados retirados do massiço compactado. Mais recentemente, receiando a possibilidade de ocorrer um erro sistemático por compressão do solo durante a cravação do cilindro, procedeu-se a uma investigação mais minuciosa, na barragem de Três Marias onde foram realizadas 64 determinações de peso específico in-situ do atérro, lado a lado, pelos dois processos: do cilindro e do óleo. No desenho 2 encontra-se o resultado da análise estatística procedida sobre essas determinações (análise de regressão linear sobre os dados) permitindo concluir que, no intervalo de pesos específicos examinados (1,85 a 2,15 g/cm<sup>3</sup>), o peso específico determinado pelo método do óleo é ligeiramente maior que o obtido pelo método do cilindro, (em média de 0,01 g/cm<sup>3</sup>), contrariamente à hipótese de compressão. Observa-se que, no método do óleo, foram tomadas todas as precauções, inclusive medida direta da temperatura do óleo dentro do furo, para correção de peso específico.

A mesma análise revelou ser o desvio padrão sobre a regressão de 0,038 g/cm<sup>3</sup>, o que conduz a um desvio padrão de aproximadamente 1% no grau de compactação. Isto significa que há cerca de 70% de probabilidade dos pontos se situarem em um intervalo tal em torno da reta  $\bar{Y}_{\text{oleo}} = f(\bar{Y}_{\text{cil}})$  que conduz a um intervalo em torno da equação média do grau de compactação de  $\pm 1\%$ .

Tal variação pode parecer à primeira vista um tanto elevada. Entretanto, uma pesquisa destinada a calcular o desvio padrão médio do peso específico de corpos de prova (de 2" de diâmetro e 5" de altura) dentro de um mesmo bloco de aproximadamente 20 x 20 x 20 cm<sup>3</sup>, permite-nos avaliar em 0,05 g/cm<sup>3</sup> esse desvio padrão, conduzindo a uma variação de  $\pm 1,3\%$  no grau de compactação, para 70% dos casos. Levando em con-

ta que as determinações do desvio padrão pelo método do cilindro e pelo do óleo foram feitas lado a lado, podemos concluir que a variação observada entre os dois métodos de medida está perfeitamente coerente com a observada entre corpos de prova situados lado a lado no bloco, pelo que podemos admitir que os dois métodos apresentam praticamente a mesma precisão. A Geotécnica utiliza o do cilindro, devido às vantagens acima apontadas, de ordem prática e econômica.

Quanto à dimensão do cilindro ( $\approx 1.000\text{cm}^3$ ), sua adoção prende-se à intenção de determinar o peso específico de um volume de solo idêntico ao do cilindro de Proctor, onde se realiza o ensaio de compactação. Estamos atualmente investigando o interesse em empregar cilindros de volumes maiores, a fim de reduzir eventualmente a comum variabilidade a cima apontada.

### 3 - Determinação do grau de compactação e da humidade - critérios de controle e de comprovação

Inicialmente, em qualquer serviço de fiscalização da construção de barragens de terra, a nossa equipe de campo procede a uma investigação completa da área de empréstimo, investigação essa que fornece as curvas de compactação para todos os materiais considerados aplicáveis na barragem, procurando concomitantemente separar zonas de materiais considerados essencialmente homogêneos para serem posteriormente aplicados em diferentes zonas do massiço (20). Após a obtenção dessa documentação inicial, os processos específicos de ensaio e de controle foram variando de época em época e de barragem em barragem, em função da documentação publicada na literatura internacional, e à medida que se adquiria experiência dos diversos processos entre si, que foram progressivamente aprimorados e confrontados. Consideraremos portanto inicialmente êsses aspectos de uma forma cronológico, historiando para cada uma das barragens os processos utilizados, e indicando em cada um destes a experiência adquirida.

Nas primeiras barragens construídas sob a fiscalização da Geotécnica, barragens de Marília, Piau, Palmital e Colonia Velha (fig. 1), o controle de compactação foi feito unicamente por fiscalização visual, servindo os ensaios apenas para comprovação. A equipe de fiscalização ajuizava, por observação visual e táctil, a aceitação da natureza e umidade do material lançado e da qualidade do produto compactado. Fazia entretanto, para registro, uma determinação do peso específico do aterrado (pelo método do cilindro), e uma da umidade (em estufa), com as quais, horas depois, eram calculados o peso específico seco e a umidade que, referidos a

estimativas dos parâmetros ótimos, baseados em investigações prévias das áreas de empréstimo, davam o grau de compactação e o desvio da umidade ótima do atérro. Como consequência, houve, nessas primeiras barragens, uma distribuição de desvio da umidade ótima, e de grau de compactação, bastante mais heterogênea que nas barragens mais recentemente construídas, a despeito da ampla experiência da equipe de fiscalização. Convém ressaltar que, já nesse período, em qualquer ocasião em que se supunha aparecerem materiais ligeiramente diferentes dos previstos nas investigações das áreas de empréstimo, recorria-se à execução de novos ensaios de Proctor, para melhor definir os seus parâmetros ideais de compactação. Já nessa fase, iniciou-se uma tentativa de employar determinações expeditas da umidade, embora sem qualquer comprovação de sua validade, e apenas a título de experiência, visando conseguir um método quantitativo de decisão quanto à umidade.

Essa determinação expedita foi oficialmente introduzida nas barragens de Camargos e Saramenha, num esforço de aproximar os critérios de decisão (contrôle) e comprovação (registro).

O processo expedito utilizado foi o do aquecimento direto, que consiste em acelerar o secamento do material, colocando a cápsula que o contém sobre uma camada de areia que forra uma frigideira levada ao fogo. A fim de evitar carbonização do material do fundo da cápsula, convém misturar o solo constantemente. O solo é considerado seco, após a estabilização de seu peso, depois de várias pesagens.

O controle da umidade passou a ser feito então através do método do aquecimento direto, e o controle do grau de compactação, através da comparação do peso específico seco, dado pelo cilindro e umidade por aquecimento direto, com os parâmetros previamente estabelecidos dos materiais de empréstimo. Tais determinações completam-se em média em cerca de 15 minutos.

Logo em seguida evoluiu-se no sentido da construção de famílias de curvas de compactação dos materiais homógeenos pesquisados nos empréstimos, através da estilização das curvas de Proctor dêles obtidas, definindo-se uma linha de máximos e as direções de subida das curvas de compactação. Assim, quando da retirada do cilindro para determinação do peso específico, uma porção do material do buraco escavado em redor do cilindro era recolhida, e sobre ela se procedia a um ensaio parcial de Proctor, de apenas um ponto, tendo-se o cuidado de que este ponto caísse do lado seco. Este ponto, com a umidade determinada pelo processo do aquecimento direto, era utilizado na família de curvas, a fim de, por interpolação, determinar-se o peso específico máximo do material, com o qual se comparava o peso específico do atérro, para a deter-

minação do grau de compactação de controle. Uma determinação da umidade em estufa para cada umidade por aquecimento direto levava pelo mesmo processo, horas mais tarde, à comprovação.

Verificações levadas a efeito para determinar-se a aproximação do método de aquecimento direto, que serão indicadas mais adiante, levaram a variações consideradas demasiadas, que motivaram o abandono desse processo quando do aparecimento de outro melhor.

Este novo processo é conhecido por "Speedy Moisture Tester", baseado na reação da água contida no solo com acetileno.

Com o aparecimento do método de Hilf (19), completou-se a aproximação entre o controle e a comprovação, uma vez que este método, prescindindo da determinação de qualquer umidade, fornece diretamente o grau de compactação e o desvio em relação à umidade ótima, sem necessidade portanto de ulteriores comprovações. Este método, depois de submetido a uma fase experimental nas barragens de Santa Branca e Três Marias, é o método que está sendo usado presentemente pela Geotécnica no controle da compactação das barragens sob sua fiscalização.

Passaremos em seguida a expôr as correlações verificadas entre os tipos pesquisados de determinações de umidade expedita, bem como o que resultou de intensos trabalhos durante a fase experimental com o método de Hilf.

#### 4 - Algumas correlações obtidas

##### a) Validez da umidade expedita (aquecimento direto e speedy)

Pelo que se pôde observar em nosso desenvolvimento histórico, as diversas fases que cruzamos foram sempre acompanhados por estudos e verificações análogas àqueles já apresentados na discussão do processo de determinação do peso específico in situ. Assim, como já nos referimos, procurou-se em certa oportunidade verificar o grau de precisão das determinações da umidade expedita.

No desenho 3, apresentamos o resultado de uma análise de regressão levada a efeito entre 323 pares de valores de umidades determinadas em estufa e por aquecimento direto, na barragem de Saramenha. Observa-se dessa análise que, a cerca de 25%, as duas umidades apresentam o mesmo valor médio.

Entretanto, se um solo com 25% de umidade (estufa) está sendo ensaiado pelo método do aquecimento direto, há 90% de probabilidade de termos um valor entre 18 e 32%, 70% de probabilidade de obtermos entre 21,4 e 28,6%, e apenas 40% de

probabilidade de estarmos num intervalo de confiança de  $\pm 2\%$ . A inclinação da reta que representa a relação entre os pares de medidas determinadas pelos dois processos, é explicável pelo secamento possivelmente incompleto do material no aquecimento direto, rapidamente realizado, e provável carbonização dos elementos argilosos que correspondem a umidades mais elevadas, visto que as determinações foram feitas sempre em torno da umidade ótima de cada solo. Entretanto, o desvio padrão sobre a regressão é bastante elevado, e impede que o processo possa ser usado, embora acompanhado de uma correção correspondente à equação da reta. Comparando esse desvio (3,62%) com o obtido em pesquisa realizada para estimar o desvio padrão dentro de um mesmo bloco (1,24%, em Três Marias), observamos que o método de aquecimento direto conduz a uma variação proveniente do próprio processo (excluída embora a heterogeneidade do solo) um tanto superior às especificações usualmente aplicadas à compacitação de barragens de terra.

Na mesma fig. 3 apresentamos o resultado de pesquisa semelhante realizada em Camargos, porém com muito menor número de dados, e algumas curvas de frequência de distribuição do desvio da umidade ótima, nas barragens em que a umidade foi determinada por esse método. Devemos observar que, sentindo logo de início no próprio campo a imprecisão do método, a equipe de fiscalização repetia ou desprezava os ensaios que sentia falhos.

Pesquisa semelhante foi realizada para comprovação do método de determinação da umidade pelo speedy. Na fig. 4 apresentamos o resultado da análise estatística realizada sobre 390 dados na Barragem de Três Marias, e sobre 13 dados na de Santa Branca. Observamos que, no intervalo de umidades estudadas, tanto num como no outro caso, a umidade determinada por speedy é em média ligeiramente menor (da ordem de 1%) que a umidade do solo (determinada em estufa). O desvio padrão obtido sobre a regressão em Três Marias (0,72%), e mesmo em Santa Branca (1,5%), onde há muito poucos dados, é bastante pequeno, principalmente quando comparado ao de umidades dentro de um mesmo bloco (1,24%)\*, e a umidades dentro do mesmo cilindro (1,22%)\*\* indicando que a precisão deste ensaio é perfeitamente compatível com a ordem de grandeza das variações verificadas no campo. Vê-se portanto que esse método é perfeitamente aplicável ao con-

\* O desvio padrão dentro do mesmo bloco foi calculado pela média ponderada (proporcional ao número de graus de liberdade) de desvios padrões de várias amostras dentro do bloco

\*\* O desvio dentro do mesmo cilindro foi calculado com pesquisa realizada em 250 cilindros, em cada um dos quais foram determinadas 3 umidades ao longo de sua altura.

trôle [associado a uma correção correspondente à análise de regressão realizada], desde que a umidade ótima seja conhecida (por exemplo casos de camadas cuja umidade está sendo modificada por secamento), ou seja, servindo o ensaio para medir a diferença de umidade.

b) Erros nas determinações de comprovação baseadas em umidade de estufa e Proctor de um ponto. (fase inicial de Três Marias e Santa Branca)

A fim de avaliar a precisão obtida na estimativa dos parâmetros ideais de compactação pela realização de um ensaio de um único ponto de Proctor associado ao emprego de famílias de curvas, foi feita em Três Marias uma pesquisa em que 103 desses ensaios foram acompanhados pela realização de 103 respectivos ensaios de Proctor (3 pontos), sendo em ambos os casos as umidades determinadas em estufa. Os resultados da análise estatística interpretativa da pesquisa a-cham-se na figura 5.

Observamos que a umidade ótima avaliada pela família de curvas é aproximadamente 0,7% maior que a determinada pelo ensaio de Proctor, enquanto que o peso específico aparente seco máximo avaliado pela família de curvas é da ordem de 0,04 g/cm<sup>3</sup> menor que o determinado pelo ensaio de Proctor. Essa variação tem como consequência uma estimativa de porcentagem de compactação alta (da ordem de 2,4%) e a aceitação de materiais de 0,7% mais umidos que a determinada pelo processo.

O emprego do speedy associado ao Proctor de um ponto para o controle expedito resultará inevitavelmente em uma associação dos dois erros acima apontados. A adoção do método de Hilf que fornece simultaneamente critério de controle e comprovação eliminou a necessidade de estudos mais esmiçados do assunto.

c) Correlações observadas durante a fase experimental com o método de Hilf.

O método de Hilf, antes de passar a fazer parte da nossa norma geral de fiscalização, foi durante algum tempo realizado concomitantemente com o processo anterior, o que nos permitiu investigá-lo sob várias condições. Além disso, para um verificação mais cabal, neste período o método de Hilf foi sempre acompanhado, em todas as suas fases, por uma determinação de umidade em estufa a fim de que pudessemos comparar diretamente o desvio em relação à umidade ótima e a porcentagem de compactação fornecida por esse método com os obtidos através da correspondente curva (seca) de Proctor de três pontos.

Na figura 6, apresentamos os resultados das análises estatísticas de comparação do método de Hilf com o processo de família de curvas com determinações de umidade por speedy ("Família-Speedy"), com o da família de curvas e determinação de umidade por estufa ("família-estufa") e com o ensaio de Proctor de três pontos com umidade de estufa (Proctor - 3 pts.) levadas a efeito na Barragem de Três Marias. Observamos que, para a determinação do ponto máximo da curva de compactação, tanto no método de Hilf como no Proctor - 3pts., foi feita a construção gráfica da parábola (19). Estas análises indicam-nos através, tanto das equações médias, como pelos intervalos de variação calculados para 90% dos pontos e pelos desvios padrões sobre as regressões, que o método de Hilf se aproxima mais do Proctor - 3pts. que dos outros dois processos, sendo que, no intervalo pesquisado, a diferença entre o método de Hilf e o Proctor - 3pts. é perfeitamente desprezível. Esta comprovação se observa tanto para a porcentagem de compactação, como para o desvio em relação à umidade ótima.

No desenho 7, apresentamos a comparação do método de Hilf com o Proctor - 3pts. realizado na barragem de Santa Branca. Aqui também notamos que não há diferença sensível entre as médias. A maior diferença observada em relação à barragem de Três Marias, principalmente nos desvios padrões e intervalos, se deve à maior heterogeneidade do solo e ao fato do ponto máximo na curva de Proctor - 3pts. ter sido avaliado por curva traçada à mão livre.

Complementando as relações acima, foi ainda investigado o possível secamento do solo durante a extração da amostra para o ensaio de Hilf, e o secamento na manipulação para a obtenção dos pontos seguintes, após acréscimos ou subtrações de água. Observamos, através da análise de quatro séries de respectivamente 57, 79, 18 e 77 dados na barragem de Três Marias, que o secamento médio durante a extração da amostra (57 dados) foi de 0.05%; o secamento médio total nas manipulações, até completado o acréscimo de 2% de água para o primeiro ponto, 0.55% (79 dados); secamento médio total nas manipulações, até completado o acréscimo de 4% de água, para o segundo ponto, 0.63% (18 dados); e secamento médio total na manipulação, após retirada de 2% de água, 0.17% (77 dados). Estes cálculos foram feitos apenas por medias, supondo uma característica e condição de solo constante, o que os torna um tanto imprecisos quanto às grandezas. Em Santa Branca, foi feita uma análise mais minuciosa, procurando-se eliminar outras variáveis, escolhendo, entre 464 dados, 40 cujas umidades anteriores tinham sido estabelecidas por médias de duas determinações por estufa, e de solos com peso específico natural do aterrado tal que o aumento de 2% da umidade em relação aos pesos úmidos correspondesse a 2,4% de umidade em relação

aos pesos sécos. Tal análise indicou ser de 0,05% o secamento médio observado no solo, com desvio padrão de 0,63%. Fica comprovada a existência de um secamento porém insignificante em comparação com os desvios devidos às heterogeneidades inevitáveis.

Da série de comprovações acima relatadas, resultou a convicção de que o método de Hilf tem uma precisão compatível com a dos ensaios de laboratório, e permite manter a mesma precisão tanto na fase expedita de decisão como na fase de comprovação de qualidade do produto compactado. Em nossa experiência, os técnicos e laboratoristas não tiveram dificuldade em aprender esse método considerado um tanto complexo, e atualmente realizam um ensaio em cerca de 25 minutos, o que não tem necessitado um aumento na equipe de fiscalização. Cabe ainda assinalar que as correlações e comprovações acima mencionadas correspondem a ensaios de Hilf realizados em cilindros padrão de Proctor e apenas com misturamente manual condições essas que se provam satisfatórias.

#### Conclusions

The slow and steady search for adequate methods of compaction control through rapid testing methods has been brought to a highly satisfactory conclusion by the advent of Hilf's method, which has been demonstrated to achieve precisions compatible with some of the best laboratory tests. As a result it is now possible to search in the compaction control of earth dams a much more appropriate, in fact as nearly true as possible, representation of the quality of the embankment through the standard parameters of percent compaction and difference of the water content from the optimum ( 20 ). ( 21 ). For the types of soils covered in these studies, the data on variations of water content and percent compaction within specimens of various sizes lead us to the determination to introduce a Hilf-Miniature procedure, using a 2" mold so that the three points may employ material from the same density cylinder; it is anticipated that there will be economic advantages to this development.

#### Conclusiones

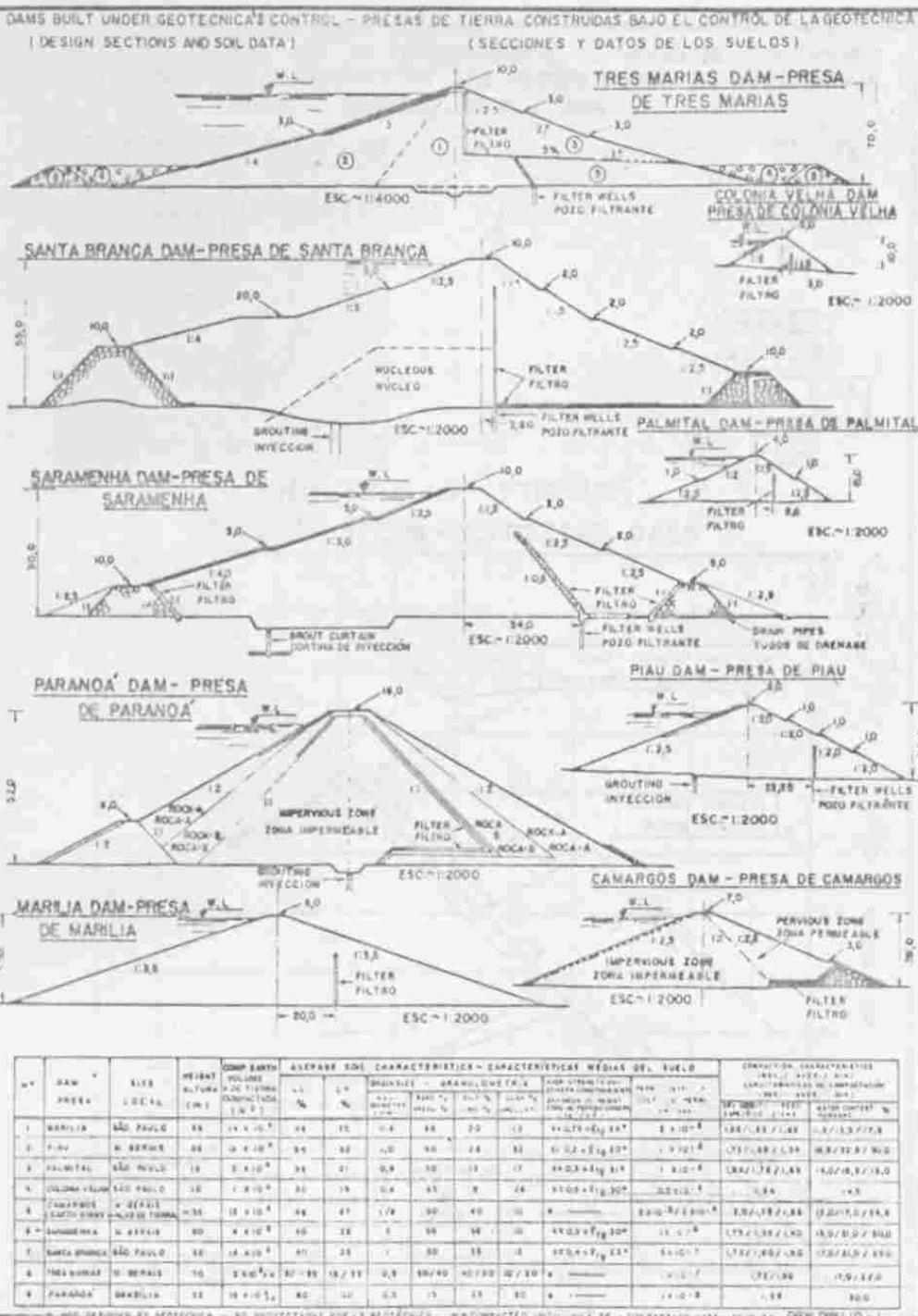
La busca lenta y segura de métodos adecuados de control de compactación a través de métodos rápidos ha tenido una conclusión bastante satisfactoria con el aparecimiento del método de Hilf, que se demostró alcanzar precisiones compatibles con algunos de los mejores ensayos de laboratorio. Como resultado, es ahora posible conseguir en el control de la compactación de presas de tierra una representa-

ción mucho más apropiada, y tan próxima de la verdadera cuan-  
to posible, de la calidad del relleno através de los pará-  
metros padrones de porcentaje de compactación y diferencia  
de la humedad optima (20), (21). Para los tipos de suelos  
comprendidos en estos estudios, los datos de las varia-  
ciones de la humedad y porcentaje de compactación entre mues-  
tras de varias dimensiones nos lleva a la determinación de  
introducir un processo Hilf-Miniatura, usando molde de 2"  
para que los tres puntos puedan emplear material del mismo  
cilindro de determinación de peso específico; podemos anti-  
cipar que habrá ventaja económica en este desenvolvimiento.

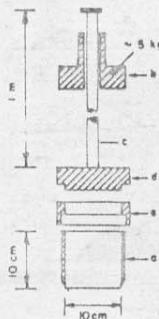
#### BIBLIOGRAFIA

- 1 - Aisenstein, B. (e outros) - Reducing water losses from storage reservoirs in Israel: blanketing of Tel-Yeruham reservoir - 1957 - Em Proceedings of the 4th international conference on soil mechanics and foundation engineering, London, V.II, p.36.
- 2 - Baroncini, G. - Groce, A. - Present soil properties and performance of the Arvo dam during 25 years of operation - 1957 - Em Proceedings of the 4th. int. conf. on soil mech. and found. eng., London, V.II, p. 267.
- 3 - Bar-Shany, M. (e outros) - The use of fat clay in dam construction in Israel - 1957 - Em Proceedings of the 4th. int. conf. on soil mech. and found. eng., London, V.II, p. 273.
- 4 - Bruzelius, Nils G. - Om Komprimering av jord - 1954 - Stockholm, Statens Vaginstitut, Maddelande 87.
- 5 - Highway research board - Compaction of embankment, subgrades, and bases - 1952 - Bulletin 58.
- 6 - Highway research board - Report of committee on compaction of subgrades and embankments. - 1947 - Bulletin 5.
- 7 - Highway research board - Compaction of subgrades and embankments - 1945 - Wartime road problem II.
- 8 - Hodgson, J.D. (e outros) - Rapid determination of moisture content and its influence on earth dam control - 1956 - Em Proceedings of the 2nd. Australia-New Zealand conference on soil mech. and found. engineering, Canterbury Univ., p. 101.
- 9 - Lewis, W.A. - Further studies in the compaction of soil and the performance of compaction plant - 1954 - England Road Research laboratory - Technical paper 33.
- 10 - Ridley, J.W. - Current practice in the design and construction of earth dams in U.S.A. - 1956 - Em Proceedings

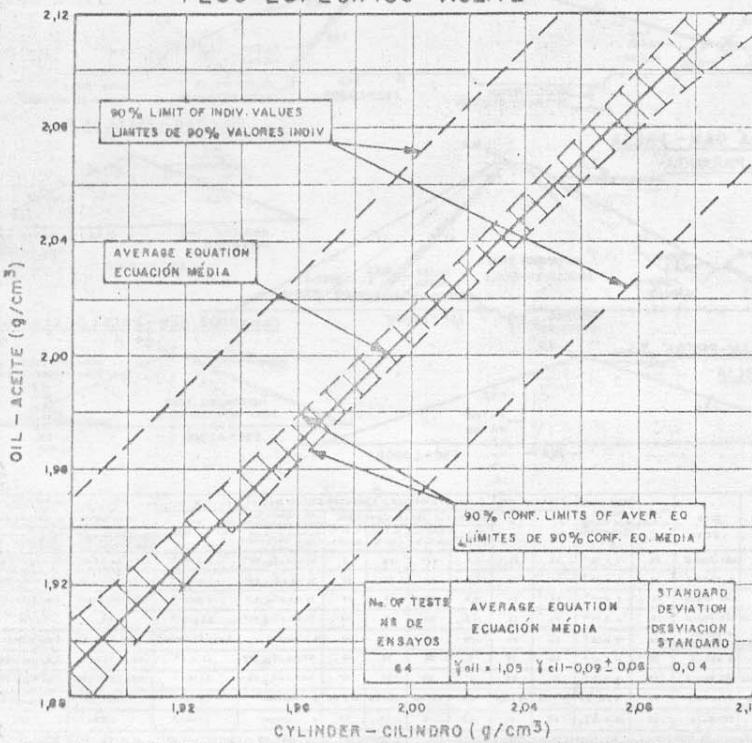
- of the 2nd. Australia - New Zealand conference on soil mech. and found. engineering. Canterbury Univ.. p. 93.
- 11 - Turnbull, J. McNeil - New test for control of cohesive soils in tolled-fill - 1956 - Em Journal of the soil mech. and found. division - ASCE Proceedings V. 82. SM2, paper 933.
  - \* U.S. Department of the Interior - Bureau of Reclamation Technical record of design and construction.
  - 12\* - Equalizing reservoir dams and the Feeder Canal - 1954.
  - 13\* - Jamestown dam - 1957
  - 14\* - Long lake dam and Main canal - 1955
  - 15\* - Paltoro dam - 1954
  - 16\* - Trenton dam - 1957
  - 17\* - Enders dam - 1958
  - 18 - Woods, K.B. - Design and construction of highway embankment - 1940 - Em Proceedings of the soil mech. and its applications, Purdue, p. 355.
  - 19 - Hilf, Jack W. - 1957 - Un Método Rapido de Control en la Construcción de Terraplenes con Suelos Coherentes - Session III, Congreso sobre Suelos para fines de Ingeniería, México D.F., A.S.T.M., Philadelphia.
  - 20 - Mello, V.F.B., Silveira, E.B.S., Silveira,A. - Construction period stability of homogeneous compacted earth dams, using Q tests. - Primer Congreso Panamericano de Suelos y Cimentaciones. Mexico.
  - 21 - Mello, V.F.B., Silveira, E.B.S., Silveira, A. - True representation of the quality of a compacted embankment - Primer Congreso Panamericano de Suelos y Cimentaciones. Mexico.



COMPARISON OF DENSITIES DETERMINED BY OIL AND DRIVE-CYLINDER METHODS  
 COMPARACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS DETERMINADOS POR LOS MÉTODOS DEL  
 ACEITE Y DEL CILINDRO CLAVADO

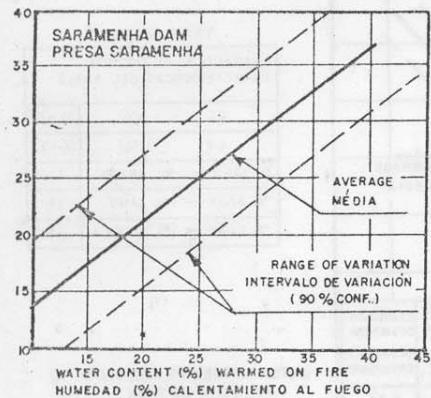


DENSITY - OIL X CYLINDER  
 PESO ESPECIFICO - ACEITE X CILINDRO

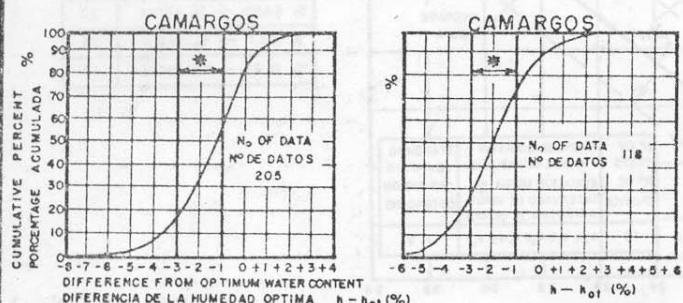
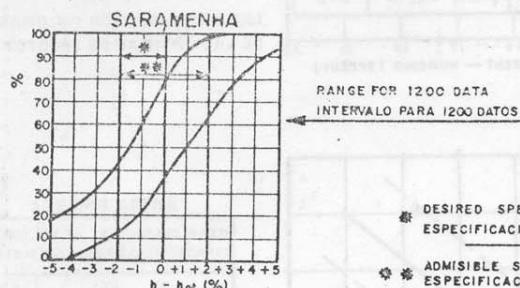


COMPARISON BETWEEN TWO METHODS OF DRYING THE SOIL FOR EARTHWORK CONTROL: OVEN (105° C) X WARMING ON FIRE

COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE SECAGE PARA CONTROL DE OBRAS DE TIERRA : ESTUFA (105° C) X CALIENTAMIENTO AL FUEGO

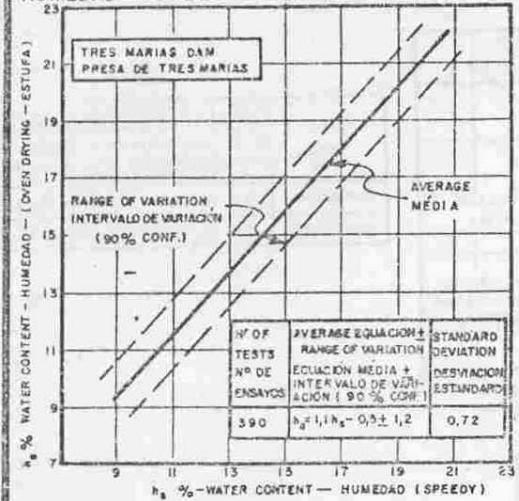


SITE LOCAL	N <sub>o</sub> OF TESTS N <sub>º</sub> DE ENSAYOS	AVERAGE EQUATION ± RANGE OF VARIATION ECUACIÓN MEDIA ± INTERVALO DE VARIACIÓN (90 % CONF.)	STANDARD DEVIATION DESVACIÓN ESTÁNDAR
SARAHENHA	323	$h_s = 5,8 + 0,78 h_f \pm 6,0$	3,62
CAMARGOS	24	$h_s = 1,5 + 0,85 h_f \pm 3,4$	2,07



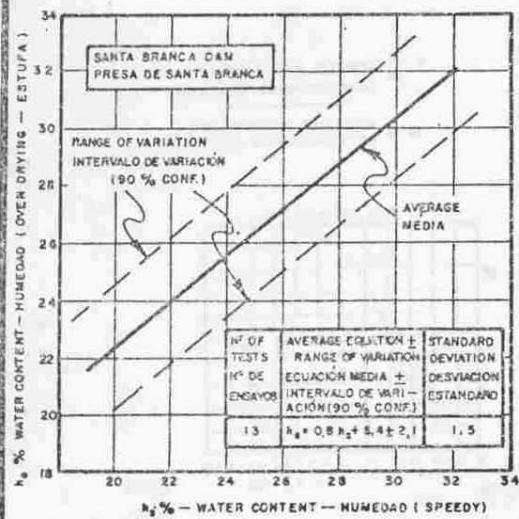
DRW. 3  
DIBUJO

COMPARISON OF DIFFERENT METHODS OF DETERMINING WATER CONTENT —  
SPEEDY X OVEN DRYING  
COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA  
HUMEDAD — SPEEDY X ESTUFA



TRES MARIAS	
CHARACTER. OF THE SOIL CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	
LL (%)	30 - 55
LP (%)	18 - 33
% SAND — % ARENA	30
% SILTY — % LIMO	25
% CLAY — % ARCILLA	45

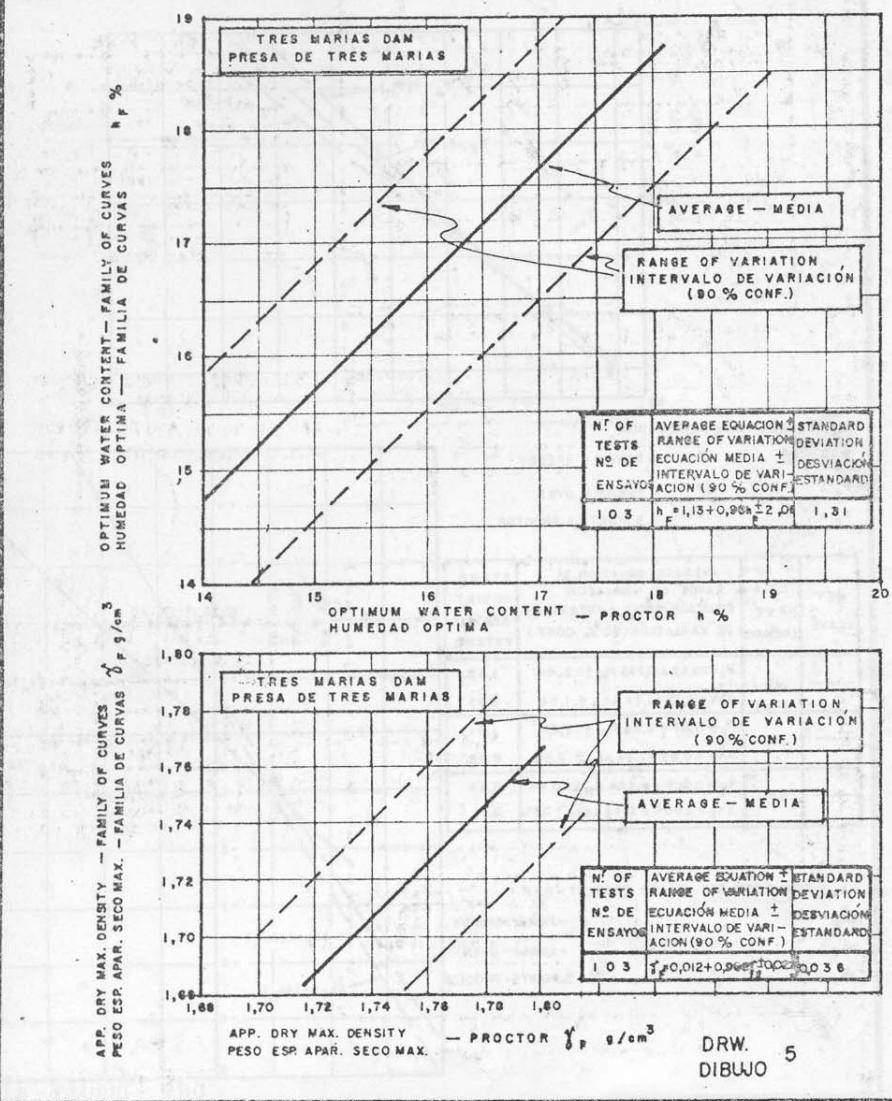
WATER CONTENTS ARE CLOSE TO  
PROCTOR OPTIMA  
LAS HUMEDADES SON PRÓXIMAS  
DE LAS ÓPTIMAS DE PROCTOR



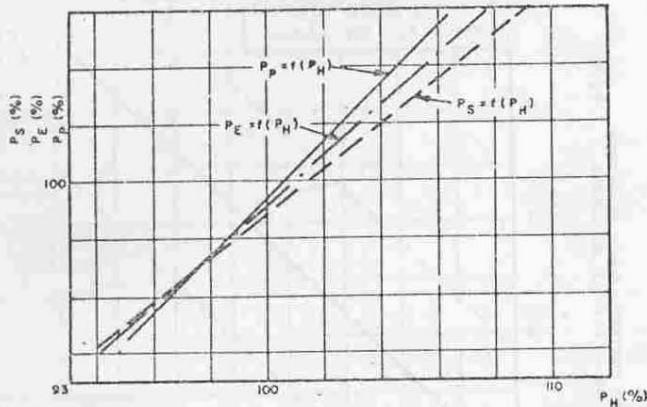
SANTA BRANCA	
MEAN CHARACTER. OF THE SOIL CARACTERÍSTICAS MEDIAS DEL SUELO	
LL (%)	60
LP (%)	28
% SAND — % ARENA	30
% SILTY — % LIMO	25
% CLAY — % ARCILLA	45

DRW. 4  
DIBUJO 4

COMPARISON BETWEEN TWO METHODS OF DETERMINING THE COMPACTION OF PARAMETERS : FAMILY OF CURVES X PROCTOR  
 COMPARACION ENTRE DOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN: FAMILIA DE CURVAS X PROCTOR



COMPARISON: HILF X { FAMILY - SPEEDY  
 FAMILY - OVEN — (TRES MARIAS)  
 FAMILY - 3 POINTS - PROCTOR



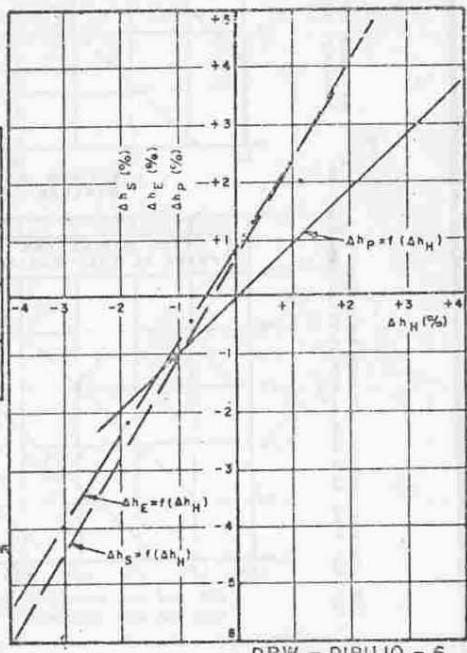
PH - PERCENT COMPACTION-HILF

Ps - " " - FAMILY - SPEEDY  
 P\_E - " " - FAMILY - OVEN  
 P\_S - " " - 3 POINTS - PROCTOR

KEY LLAVE	NR OF TESTS NR DE ENSAYOS	AVERAGE EQUATION $\pm$ RANGE OF VARIATION ECUACIÓN MÉDIA $\pm$ INTERVALO DE VARIACIÓN (90% CONF.)	STAND. DEVIAT. DESVIAC. ESTAND.
—	45	$P_E = 23,68 + 0,753 P_H \pm 2,44$ $\Delta h_E = 0,73 + 1,74 \Delta h_H \pm 1,55$	1,48 0,95
—	45	$P_E = 11,07 + 0,88 P_H \pm 2,31$ $\Delta h_E = 0,85 + 1,44 \Delta h_H \pm 0,85$	1,41 0,52
—	29	$P_P = 0,005 + 0,994 P_H \pm 0,89$ $\Delta h_P = 0,004 + 0,966 \Delta h_H \pm 0,24$	0,54 0,14

$\Delta h_H$  - DIFF. FROM OPT. WATER CONTENT - HILF

$\Delta h_S$  - " " " - FAMILY-SPEEDY  
 $\Delta h_E$  - " " " - FAMILY-OVEN  
 $\Delta h_P$  - " " " - 3 POINTS-PROCTOR



DRW - DISUJO - 6

