

(11) *Número de Publicação:* PT 86959 B

(51) *Classificação Internacional:* (Ed. 5)
A61M005/14 A F04B009/00 B

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) <i>Data de depósito:</i> 1988.03.11	(73) <i>Titular(es):</i> CRITIKON, INC. 4110 GEORGE ROAD TAMPA, FLORIDA 33634 US
(30) <i>Prioridade:</i> 1987.03.13 US 025314	
(43) <i>Data de publicação do pedido:</i> 1989.03.30	(72) <i>Inventor(es):</i> KAY MADSEN US FRANS LUDDING US
(45) <i>Data e BPI da concessão:</i> 08/94 1994.08.05	(74) <i>Mandatário(s):</i> JOÃO DE ARANTES E OLIVEIRA RUA DO PATROCÍNIO 94 1350 LISBOA PT
(54) <i>Epígrafe:</i> SISTEMA DE CONTROLO DE UMA BOMBA	
(57) <i>Resumo:</i>	

[Fig.]



Memória descritiva referente à patente de invenção de CRITIKON, INC., norte-americana, (estado: New Jersey), industrial e comercial, com sede em 4110 George Road, Tampa, Florida 33634, E.U.A., (inventores: Kay Madsen e Frans Ludding, residentes nos E.U.A.), para "SISTEMA DE CONTROLO DE UMA BOMBA".

Memória descritiva

A presente invenção refere-se a sistemas de fornecimento de fluidos e, em particular, a técnicas de controlo para controlar o fornecimento de soluções parentéricas por bombas intravenosas.

Os sistemas de bombagem para o fornecimento de fluidos por via intravenosa ou intra-arterial são bem conhecidos na técnica anterior e são largamente usadas no dia-a-dia nos hospitais de todo o mundo. Estes sistemas são usualmente utilizados para o fornecimento por via intravenosa ou intra-arterial de fluidos tais como soluções de glucose e plasma sanguíneo, e para o fornecimento de medicamentos, todos com taxas de fornecimento baseadas nas necessidades dos doentes e, no caso dos medicamentos, nas concentrações dos medicamentos fornecidas.

O pedido de patente americano Nº. 116.0140, apresentado simultaneamente, intitulado "PUMP PRESSURE SENSOR" descreve uma combinação bomba-sensor de pressão nova na qual uma viga flexível accionada por um motor comprime e expande alternadamente uma cassette de bomba descartável. O movimento da viga flexível provoca um movimento relativo de placas de um condensador fixadas à viga flexível e a uma viga sensora associada. Medindo as variações da capacidade das placas do condensador pode obter-se uma medida da força de bombagem e portanto da so-



lução bombada através da cassete. Um tal sistema é desejável para os utilizadores, visto que a utilização de uma cassete descartável garante que pode usar-se uma cassete nova estéril para cada processo de infusão. O sistema é económico visto que a cassete é feita de materiais poliméricos baratos.

Porém, a utilização de uma cassete de plástico apresenta dificuldades na obtenção de rigor na medição do fluido. Quando se aplicam forças de bombagem à cassete, o material plástico deforma-se ou expande-se e o volume da cassete variará. Esse fenómeno denomina-se deformação positiva da cassete. Correspondentemente, quando se removem as forças de bombagem e se produz uma pressão negativa relativa à pressão de entrada no interior da cassete durante o enchimento, a cassete de plástico distende-se até um volume diferente, o que é denominado deformação negativa. As deformações positiva e negativa variáveis da cassete conduzirão a erros na taxa de fornecimento do fluido.

De acordo com os princípios da presente invenção, proporciona-se uma técnica para determinar a deformação positiva e a deformação negativa da cassete. A deformação positiva e a deformação negativa da cassete são usadas para determinar o volume real de fluido que foi bombado durante o ciclo de bombagem, sendo este volume real depois usado para calibrar a velocidade de bombagem para obter um fornecimento de fluido controlado com precisão.

A precisão da medida da deformação positiva e da deformação negativa está dependente do conhecimento preciso das pressões do fluido no interior da cassete durante o ciclo de bombagem. Por sua vez, isso exige precisão na detecção das forças de bombagem, que são medidas pelas placas do condensador das vigas. De acordo com um outro aspecto da presente invenção, a capacidade eléctrica das placas é medida excitando as placas com um sinal de corrente alternada. O sinal de corrente alternada detectado varia em amplitude quando a capacidade eléctrica varia. A amplitude do sinal de corrente alternada é detectado para proporcionar um sinal representativo da força de bombagem. Este sinal é depois usado para produzir um sinal digital que



especifica quantitativamente a força de bombagem.

Uma vez que a velocidade de bombagem desejada tenha sido calibrada para os fins da deformação positiva da cassete, a bomba tem de ser controlada para obter efectivamente a velocidade de fornecimento de fluxo desejada. De acordo ainda com um outro aspecto da presente invenção, o motor da bomba é controlado com precisão por um anel de retroacção. No anel, o motor é accionado por um sinal que é proporcional a um factor de erro no anel. O factor de erro no anel é em parte determinado por um primeiro número pré-determinado. Quando o motor roda, a sua posição é seguida por um sensor de posição. Um sinal de posição proveniente do sensor é usado em combinação com um sinal de controlo da velocidade da bomba derivado da taxa de fornecimento de fluido desejada para formar um número de controlo. O número de controlo é subtraído do primeiro número pré-determinado para produzir o factor de erro no anel. Esta técnica de controlo proporciona um controlo particularmente preciso para os valores baixos da taxa de fornecimento de fluido, onde a precisão é especialmente importante:

As figuras dos desenhos:

A fig. 1, parcialmente na forma de esquema de blocos e parcialmente em forma esquemática, um sistema de controlo de uma bomba construído de acordo com os princípios da presente invenção;

A fig. 2, em parte como esquema de blocos e em parte em forma esquemática, pormenores dos circuitos de detecção da força e o dispositivo de calibração e detecção da força da fig. 1;

A fig. 3, curvas que ilustram os princípios da técnica de determinação do volume não bombado segundo a presente invenção;

A fig. 4, um fluxograma para fazer uma determinação do volume não bombado;

A fig. 5, em parte na forma de diagrama de blocos e em parte na forma esquemática, pormenores do controlador do mo-



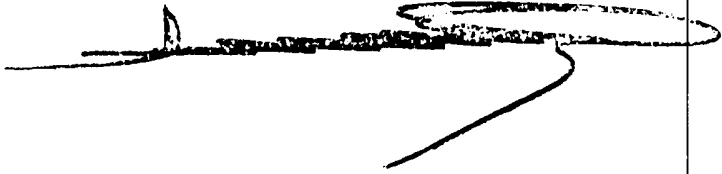
tor da fig. 1;

A fig. 5a, na forma de diagrama de blocos, os princípios do controlo do motor usados na fig. 5; e

As fig. 6 e 7, fluxogramas que ilustram a determinação dos números de controlo da velocidade da bomba no controlador do motor das fig. 5 e 5a.

Com referência à fig. 1, nela está representado um sistema de controlo de uma bomba construído de acordo com os princípios da presente invenção. O sistema de controlo controla o funcionamento de um sistema de bomba accionada por um motor e de cassete de bomba que estão descritos em pormenor no referido pedido de patente americano atrás mencionado Nº. 116.0140, cujo conteúdo é aqui incorporado por referência. Como se representa na fig. 1, o sistema deste pedido de patente inclui um motor de corrente contínua (44), que é alimentado para rodar um veio (46) do motor. Ligada ao veio (46) está uma roda de accionamento, que contém um sulco de came (52). A periferia exterior da roda de accionamento é dentada para formar cavas e dentes (56) espaçados uniformemente em torno do perímetro da roda. Quando a roda de accionamento roda, os dentes (56) passam através de codificador de posição óptico (90). Os dentes da roda interrompem dois feixes luminosos dirigidos para os dentes (56) e as cavas intermédias. Os feixes luminosos estão afastados de uma distância igual a um quarto da distância através de uma cava e um dente e são recebidos por dois sensores da luz. Quando os feixes luminosos são interrompidos pelos dentes, os sensores produzem duas ondas quadradas, em quadratura. Numa forma de realização construída há trinta e dois dentes em torno da circunferência da roda e os sinais em quadratura deste modo proporcionam uma resolução de posição de 1/128 de uma rotação da roda.

Colocado ao longo da borda da roda de accionamento (50) há um íman (94). Quando o íman passa pelo codificador de posição (90), ele fecha um interruptor de lâmina magnética no codificador. O fecho do interruptor de lâmina informa o sistema de que o ciclo de bombagem atingiu uma posição "de repuso" ou posição de referência. No sulco (52) da came passa uma came (15).



Esta came segue o sulco quando a sua distância radial a partir do veio (46) varia durante o ciclo de bombagem. Esta variação faz com que a came e a viga à qual ela está fixada se desloquem lateralmente, como se indica com as setas (16). O sulco da came e a came transformam assim a rotação do veio do motor num movimento alternativo linear.

Quando a came efectua o movimento alternativo ela desloca a parte inferior de uma viga do sensor (70) e uma viga flexível (68) à qual ela está fixada. A viga flexível (68) está fixada na parte superior por meio de um perno de oscilação (62) e quando a sua parte inferior se desloca, a viga flecte em torno desse perno. A viga do sensor mantém-se não flectida durante o funcionamento da bomba. Situado na viga flexível entre o perno de oscilação e o apoio de accionamento há um actuador (74) da bomba que estende lateralmente. O actuador da bomba é farpado de modo que se enfia automaticamente quando engata com o receptor de accionamento (146) da cassette (77) da bomba. O receptor de accionamento (146) está colocado na superfície exterior de um diafragma da cassette da bomba. O receptor de accionamento e o diafragma são feitos de um material polimérico tal como polietileno de modo que o receptor (146) enfiar-se-á facilmente no actuador da bomba farpado e de modo que o diafragma será facilmente deslocado para dentro e para fora de uma câmara de fluido no interior da cassette quando accionado pelo actuador. Quando o diafragma é accionado para dentro da câmara de fluido pelo actuador a pressão no interior da câmara aumenta até forçar a abertura de uma válvula de saída na parte inferior da cassette. É então bombado fluido para fora através de um tubo de saída (88). Quando o actuador faz recuar o diafragma, a válvula de saída fecha-se e a pressão decrescente na câmara abrirá uma válvula de entrada na parte superior da cassette, permitindo que a câmara se encha de fluido fornecido pelo tubo de entrada (80). Assim, o ciclo completo da bomba consiste numa operação de enchimento e uma operação de bombagem.

Colocada na parte superior da viga flexível (68) há uma placa (64) de condensador e na parte superior da viga do sensor há uma placa (66) do condensador. Quando a viga flexível



flecte durante o ciclo da bomba, as duas placas do condensador movem-se uma em relação à outra. A sua capacidade eléctrica variará correspondentemente, proporcionando assim uma medida da força exercida no diafragma da cassette pelo actuador (74) da bomba. Essa força pode ser positiva ou negativa e está relacionada com a pressão do fluido no interior da câmara da cassette da bomba.

As placas (64) e (66) do condensador estão ligadas por condutores (40) e (42) aos circuitos de detecção da força (100). Estes circuitos excitam e descodificam os sinais provenientes das placas (64) e (66) do condensador para proporcionar um sinal representativo da força do actuador da bomba na cassette (77). Este sinal é aplicado aos circuitos de calibração e detecção da força (102), que produzem uma medida quantitativa da força. A medida da força é usada pelas rotinas de conversão na pressão (104) que forma um sinal representativo da pressão do fluido no interior da cassette e um sinal representativo da contrapressão de saída da cassette. Um subsistema (120) de conversão de caudais, visualização, alarmes e controlos proporciona uma indicação visual de vários parâmetros de operação no sistema, segue o funcionamento do sistema para detectar condições de avaria e proporciona uma interface do utilizador para a introdução de parâmetros de operação do sistema. Em particular, o subsistema (120) proporciona um meio para o operador introduzir o caudal desejado, que é usado pelo controlador do motor para estabelecer uma velocidade de funcionamento da bomba.

A medida da pressão na cassette é aplicada a um subsistema (106) de determinação do volume não bombado, juntamente com sinais de posição provenientes de um controlador (110) do motor para permitir uma determinação da percentagem do volume de fluido da cassette que não está a ser bombado devido à deformação positiva e à deformação negativa da cassette. Uma medida do volume de fluido que está efectivamente a ser bombado é fornecida a um conversor (108) de caudal em velocidade, que produz um sinal para o controlo da velocidade do motor da bomba. O sinal de controlo da velocidade é aplicado a um controlador do motor (110) que realiza o controlo em anel fechado do motor (44) da bomba.



Os sinais de excitação do motor são aplicados ao motor de corrente contínua por um condutor (48), sendo retornados sinais de posição pelos condutores (92) para fechar o anel de controlo do motor.

Referindo agora a fig. 2, os circuitos de detecção da força (100) e os circuitos de calibração e detecção da força (102) estão nesta figura representados em pormenor. Um sinal de relógio (CLK) de, por exemplo, 100 KHz é aplicado à entrada de relógio de um flip-flop do tipo "D" (130). A saída $\bar{Q}$ do flip-flop (130) está acoplada à entrada D do flip-flop de modo que o flip-flop dividirá continuamente o sinal (CLK) por dois. O flip-flop (130) produz um sinal (CLK1) que é aplicado a uma das placas do condensador e à entrada de comando de um interruptor (152). Um sinal complementar $\overline{\text{CLK1}}$ é aplicado ao condensador de ajuste (132) e também à entrada de comando de um interruptor (154). O condensador de ajuste (132) é ajustado para compensar as capacidades distribuídas no sistema. As placas (64,66) do condensador produzem uma capacidade C_s que varia com o afastamento das placas, tipicamente numa faixa de cerca de 1 pf. A capacidade eléctrica variável das placas é reflectida por uma modulação de amplitude do sinal de corrente alternada (CLK1) aplicada na saída de um amplificador (140).

O sinal de capacidade modulado é aplicado a uma entrada de um amplificador (140). O amplificador (140) tem uma resistência de retroacção (144) e um condensador de retroacção (142). O ganho deste andar de amplificação para os sinais de corrente alternada aplicados é igual a C_s/C_f , sendo C_f a capacidade eléctrica do condensador (142). Uma segunda entrada do amplificador (140) recebe uma tensão de referência $V/2$. Os circuitos da fig. 2 estão concebidos para ser alimentados por uma fonte de alimentação de corrente contínua de +5V convencional. Esta tensão de alimentação é aplicada a um divisor de tensão (não representado), que produz uma tensão intermédia $V/2$ de baixa impedância. Usando este nível de tensão intermédia como referência para o circuito de detecção da capacidade, o sinal de capacidade de corrente alternada é efectivamente referenciado a este nível de tensão intermédia aos dois fios de alimentação. O nível nominal do sinal na saída do amplificador (140) é aproximadamen-

te de 50 mv entre picos.

O sinal de corrente alternada na saída do amplificador (140) é acoplado às duas entradas de um detector síncrono (150), que detecta sincronamente a modulação de amplitude do sinal de capacidade. Também acopladas às entradas do amplificador detector síncrono (156) estão as entradas de dois interruptores controlados sincronamente (152) e (154). Como os interruptores são comandados pelos mesmos sinais (CLK1) e ($\overline{\text{CLK1}}$) que excita as placas (64) e (66) do condensador, o referido comando está constantemente numa relação de fase conhecida com o sinal de capacidade. Estes interruptores operam alternadamente o amplificador (156) por forma a ter um ganho negativo elevado ou um ganho positivo elevado, em sincronismo com o sinal de capacidade de corrente alternada. O detector síncrono (150) produz assim um nível de corrente contínua representativo da capacidade eléctrica das placas (64,66) do condensador e portanto representativo da força do actuador. Na forma de realização ilustrada, o detector síncrono tem um ganho de cerca de 20. As "pontas" que se verificam na ligação dos sinais aplicados ao amplificador (156) são filtrados pelos condensadores (158) e (162).

O sinal de corrente contínua produzido pelo detector síncrono (150) sofre outra amplificação por um amplificador (160), para produzir um sinal de corrente contínua final na saída do amplificador (160) que é representativo da força do actuador na cassette. O sinal de força é depois detectado e calibrado para proporcionar uma medida digital quantificado da força.

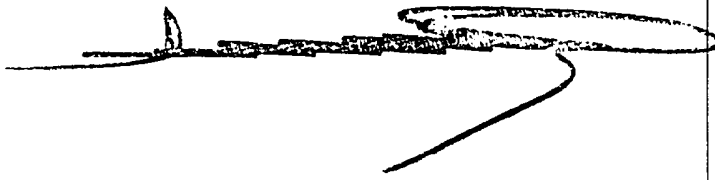
O sinal de corrente contínua representativo da força é aplicado à entrada não inversora de um comparador (170), que compara o nível deste sinal com o nível de um sinal produzido por um conversor de digital para analógico (D/A) (182). A histerese do comparador é determinada pelos valores relativos das resistências (172) e (174) para proporcionar ao comparador (170) histerese de modo tal que ele mude de estado positivamente sem oscilações. O sinal de comparação produzido pelo comparador apresentará um de dois estados, e indica se o sinal representativo da força é maior que, ou menor que o sinal gerado por computador produzido pelo conversor D/A.



O estado do sinal de comparação é detectado por um subsistema (180) de aproximações sucessivas que, com controlo por computador, procura adaptar o sinal representativo da força a um sinal digital de 8 bits na linha omnibus (188). O subsistema (180) executa esta função por aproximação sucessiva, começando pelo bit mais significativo e ajustando os bits sequencialmente na linha omnibus (188) em correspondência com alterações detectadas no estado do sinal de comparação. O sinal sucessivamente actualizado na linha omnibus (188) é convertido repetitivamente para um sinal analógico e comparado com o sinal representativo da força até serem determinados os 8 bits. Após oito iterações, o sinal digital na linha omnibus (188) adapta-se ao sinal representativo da força com a precisão de 1 parte em 256. Esta técnica iterativa elimina a necessidade de um conversor analógico-digital (A/D) discreto na saída do amplificador (160).

Uma vez determinado o sinal da força de oito bits na linha omnibus (188), ele é aplicado a uma tabela de consulta de forças (184), que produz um sinal digital correspondente, que é uma quantificação da força do actuador. Isso pode ser feito em circuitos físicos, como se representa na fig. 2, activando a tabela de consulta de forças, quando se determina uma adaptação. Mas isso pode também facilmente fazer-se por programação. Como oito iterações da comparação de aproximações sucessivas darão como resultado sempre uma adaptação, o sistema esperará até que sejam efectuadas oito iterações de aproximação sucessiva antes de aceitar um valor proveniente da tabela de consulta de forças (184). Nessa altura a tabela estará a fornecer um valor da força preciso.

Durante o fabrico e a calibração do dispositivo da fig. 1, a tabela de consulta das forças pode ser calculada a partir de ajustamentos empíricos de forças. A cassette (77) é substituída por meios para aplicar sucessivamente doze forças conhecidas ao actuador (74) da bomba. Essas forças podem distribuir-se numa gama de + 3,40 Kg (7,5 libras) a - 1,36 Kg (-3 libras), por exemplo. Depois de ser aplicada cada força, o valor digital na linha omnibus (188) é visualizado e registado. Quando estiverem registados todos os doze valores, os mesmos são introduzidos numa rotina de ajustamento de curvas, que ajusta uma curva de 256



valores discretos de forças às doze medidas. Os 256 valores de forças são depois introduzidos numa memória fixa, que serve de tabela de consulta de forças para o sistema.

Depois de um valor de força ter sido aceite a partir da tabela de consulta de forças (184), as rotinas de conversão de pressões (fig. 1) convertem a força medida em vários níveis de pressão que o sistema necessita de conhecer. Por exemplo, a pressão do fluido no interior da cassette em Kg/cm^2 pode obter-se dividindo o valor da força pela área equivalente da câmara do fluido da cassette. A área da câmara do fluido é facilmente determinada empiricamente aplicando uma força conhecida à cassette e medindo a pressão resultante na câmara em Kg/cm^2 . A combinação da força em Kg com a pressão resultante em Kg/cm^2 fornece a área equivalente em cm^2 . Por exemplo, se se verificar que a cassette tem uma área de $3,23 \text{ cm}^2$ (0,5 polegadas quadradas) a força o valor de 2,83 Kg (6,25 libras), a pressão na cassette é igual ao quociente das duas, ou $0,876 \text{ Kg/cm}^2$ (12,5 psi). Para determinar a pressão do fluido no local da infusão, ou contrapressão, a pressão necessária para abrir a válvula de saída da cassette, ou a pressão de cisão, é depois subtraída da pressão da cassette. Se a pressão de cisão de saída for, por exemplo, de $0,35 \text{ Kg/cm}^2$ (5 psi), uma pressão da cassette de $0,876 \text{ Kg/cm}^2$ (12,5 psi) produziria uma contrapressão de $0,525 \text{ Kg/cm}^2$ (7,5 psi). Esta medida da contrapressão é seguida continuamente pelo subsistema (120) para ver que ela se mantém dentro de limites aceitáveis.

Outros factores que influenciam a força medida pode ainda tomar-se em consideração na determinação de pressões. Por exemplo, o actuador da bomba ou a roda de accionamento podem ser sujeitos à acção de uma mola para eliminar a folga nos componentes mecânicos do sistema, e a força da mola pode afectar a força do actuador detectada e ter de incluir-se no cálculo da força. Na utilização de uma cassette de plástico, a cassette pode apresentar forças elásticas que são função do ciclo de operação e da velocidade da bomba. Por outro lado, é de esperar que uma cassette de plástico apresente uma certa relaxação no tempo das tensões mecânicas no material plástico da cassette em função do



ciclo de funcionamento da bomba. Todos estes factores seriam tidos em consideração na conversão da força em medidas da pressão.

As medidas da pressão na cassette são usadas para determinar o volume efectivo de líquido que é bombado pela cassette da bomba durante cada ciclo de bombagem. A fig. 3 ilustra os princípios da determinação do volume bombado pela cassette. A curva (200) na fig. 3a representa a altura da came ou a variação do sulco (52) da came a partir do veio de accionamento (46) ao longo de um ciclo de bombagem. O ciclo de bombagem está dividido em duas fases de funcionamento, o funcionamento de bombagem quando o líquido está a ser expulso através do tubo de saída (88), e a operação de enchimento quando o líquido está a reencher a cassette através do tubo de entrada (80). Na parte superior da figura, está representada a posição da came em graus de um ciclo completo e também em termos das 128 fases diferentes do sinal sensor de posição que indicam a posição da came. A operação de bombagem estende-se desde a posição 0 até à posição 64 e a operação de enchimento desde a posição 64 até à posição (128), neste exemplo, embora as duas operações possa uma proporção desigual, se se desejar.

A curva (202) da fig. 3b mostra uma resposta áptica da pressão para uma cassette perfeitamente não deformável isto é, rígida. Numa tal cassette haveria uma subida imediata até à pressão máxima quando se iniciasse a operação de bombagem. Na ilustração da fig. 3b, indica-se a pressão máxima como sendo igual a $+ 0,876 \text{ Kg/cm}^2$ ($+ 12,5 \text{ psi}$). Quando o ciclo muda de bombagem para enchimento, na posição 64 da came, a pressão na cassette cai imediatamente para a sua pressão de enchimento, aqui representada como sendo igual a $-0,14 \text{ Kg/cm}^2$ ($- 2 \text{ psi}$). Estas pressões variarão de um processo para o outro em função de factores tais como a contrapressão na saída da cassette e a pressão hidrostática na entrada determinada pela elevação da fonte de fluido em relação à cassette.

Numa cassette de um polímero, tal como a cassette (77), a curva de resposta da pressão não seria a representada pela curva (202), mas sim apresentaria os efeitos da deformação positiva



e da deformação negativa. Uma curva de resposta da pressão para uma cassette que seja deformável 50% está representada na fig. 3c. Devido à deformação de 50%, a pressão na cassette subiria gradualmente na primeira metade do funcionamento de bombagem (posições 0 a 32) como se representa pela linha (210). Na posição (32) foi absorvida a deformação positiva e a pressão estabiliza-se ao nível de uma pressão máxima P_{bombagem} , pois a válvula de saída abre-se quando se atinge a sua pressão de abertura (cisão). A pressão mantém-se constante como se indica pela linha (212) até se iniciar a operação de enchimento na posição (64). É então a deformação negativa da cassette que afecta a pressão, que cai lentamente até à posição 96, como se indica pela linha (214). Depois a pressão de enchimento mantém-se a um nível $P_{\text{enchimento}}$ até se ter completado a operação de enchimento na posição 128.

O valor da deformação positiva da cassette pode ser determinado medindo as variações da pressão durante a fase de deformação positiva do ciclo de bombagem, indicado pela linha (210). Porém, é preferido medir a deformação positiva da cassette pelos efeitos da deformação negativa durante a operação de enchimento em torno da linha (214). A razão disso é que a pressão na câmara do fluido é independente da pressão distal nesse instante. Uma vez iniciada a operação de enchimento, fecha-se a válvula de saída na cassette, isolando assim a deformação negativa da cassette dos efeitos da pressão no local da infusão. Quando se utilizar a operação de bombagem para a determinação da deformação positiva, a válvula de saída está ou aberta ou quase a abrir-se. O nível de pressão ao qual a válvula efectivamente se abre é uma função de variáveis para além do controlo do sistema, tais como a possibilidade de o movimento pelo paciente aliviar ou aumentar bruscamente a contrapressão no local da infusão. Tal movimento não só fará com que a válvula de saída se abra a pressões diferentes de um ciclo de bombagem para o outro: as contrapressões variáveis no interior da cassette da bomba podem também fazer variar a deformação positiva durante o tempo em que ela está a ser medida. Estas dificuldades e imprecisões são evitadas pela medição da deformação negativa durante a operação de enchimento.



Fazendo referência simultaneamente ao fluxograma da fig. 4, pode compreender-se a técnica para a determinação do volume de líquido não bombado devido à deformação positiva e à deformação negativa da cassette. O processo inicia-se com a recepção de um sinal "repouso" proveniente do sensor de posição (90). Este sinal é o produzido pelo fecho do interruptor de lâmina magnética quando o íman (94) fica em oposição ao interruptor. O sinal de "repouso" informa o sistema de que a came está a aproximar-se da posição (64) e que está quase a iniciar-se o funcionamento de enchimento. O sistema começa então a fazer explorações ou colher amostras de valores da pressão da cassette em posições correspondentes da came. Inicialmente estas medidas serão no fim da operação de bombagem, quando a cassette está ainda pressurizada à pressão P_{bombagem} , como se indica pelos pontos de amostragem na linha (212). Quando começa a operação de enchimento, a válvula de saída da cassette fecha-se e o sistema continua a fazer aquisição de pares de dados de medidas de pressão e de posição enquanto se verificam os efeitos da deformação negativa, como se mostra pelos pontos de amostragem na linha (214). Finalmente, atinge-se um nível de pressão de enchimento $P_{\text{enchimento}}$ estável e o sistema adquire um certo número de pares de dados neste nível final.

Depois, o sistema determina o nível de pressão absoluta P_{bomba} . Fá-lo acumulando e fazendo a média de medidas sucessivas da pressão inicial até ser atingida uma medida que é 97% da média acumulado. Este procedimento ajusta um valor da P_{bombagem} . Utiliza-se um procedimento análoga para determinar o nível de pressão absoluta $P_{\text{enchimento}}$. As últimas medidas de pressão são acumuladas e determina-se a sua média retrocedendo no tempo de aquisição até ser atingida uma medida que seja 103% da média acumulado. Este procedimento de cálculo da média estabelece o nível de pressão $P_{\text{enchimento}}$.

Utiliza-se então um processo de ajustamento a curvas para determinar a linha (214). Os pares de dados usados para o ajustamento da curva são os que vão de 106% do nível $P_{\text{enchimento}}$ a 93% do nível P_{bombagem} . Para uma cassette que apresente uma deformação negativa pequena pode haver apenas um pequeno número



de pontos de dados, enquanto que uma cassette muito deformável pode fornecer para cima de cem de tais medidas. A curva DEPL que se ajusta a estes pontos de dados definirá a curva de deformação em termos da variação da pressão da cassette com a posição da came.

As três medidas atrás referidas são depois usadas para calcular o número de posições da came durante as quais a cassette sofre deformação negativa. Este cálculo é feito dividindo a diferença entre P_{bombagem} e $P_{\text{enchimento}}$ pela curva de deformação negativa DEPL. Este cálculo determina o número de posições da came em que a cassette estava a sofrer uma relaxação das forças de deformação e não estava a ser cheia devido à variação volumétrica. Este intervalo está indicado na fig. 3 por "número de pos. de não enchimento", havendo neste exemplo 32 posições.

O número de posições da came que ocorrem durante a deformação negativa é depois usado para determinar o volume não bombado. Este é o volume de líquido que fica na cassette durante o ciclo de bombagem e ocupa o volume aumentado da câmara de fluido durante a deformação negativa. O volume não bombado é determinado dividindo o número de posições de deformação negativa pelo número total de posições de enchimento, multiplicando depois esta relação pelo volume nominal da cassette. O volume da cassette pode ser determinado empiricamente medindo o deslocamento do diafragma da cassette quando ele está estendido para o interior da câmara de fluido. Numa forma de realização construída mediu-se o volume da cassette de 350 μl . Para este exemplo, o volume não bombado é então igual a $(350 \mu\text{l}) \times (32 \text{ pos.} / 64 \text{ pos})$, ou seja 175 μl .

O volume de líquido efectivamente bombado durante o ciclo de bombagem pode agora ser facilmente determinado por subtracção do volume não bombado do volume nominal da cassette. Para o exemplo anterior, este volume efectivamente bombado num ciclo é 175 μl .

Esta técnica é aplicável a qualquer relação entre as posições de bombagem e as posições de enchimento que pode ser empregada num sistema dado. Por exemplo, pode ser desejável



encher rapidamente a cassete durante um quarto do ciclo de bombagem, bombar depois durante os restantes três quartos do ciclo. Uma tal relação bombagem/enchimento pode ser usado para manter uma contrapressão suficiente no local de injeção sobre a maioria do ciclo de bombagem para manter a veia aberta, por exemplo, e seria desejável com velocidades de infusão muito baixas.

A determinação do volume efectivamente bombado é efectivamente efectuada em cada ciclo de bombagem para medir com precisão a velocidade de infusão e manter uma medição corrente precisa do volume de líquido fornecido ao paciente. Enquanto os efeitos da deformação positiva se manterão sensivelmente constante durante o uso de uma só cassete, observaram-se variações até 20% de uma cassete de polímero para o outro.

Os princípios do anel de controlo do motor (44) da fig. 1 estão ilustrados na fig. 5a. Em princípio, um contador (240) é incrementado com uma cadência uniforme por impulsos (N) pré-determinados. A saída do contador é uma "contagem" de sinais de erro que, num certo instante, atinge um nível que excita o motor de corrente contínua (244). Quando o motor for excitado, a sua mudança de posição é detectada pelo codificador de posição (290), que produz um sinal de posição (P). O sinal de posição (P) é combinado com um factor de controlo da velocidade (K) para produzir um termo KP. O termo (KP) decrementa o contador (240), reduzindo assim a contagem por um processo de controlo por retroacção. O algoritmo de controlo para o controlo do motor pode assim exprimir-se como

$$\text{Contagem} = N - KP$$

Esta técnica de controlo é, como foi verificado, especialmente precisa no seu controlo de um sistema de bombagem, particularmente às taxas de infusão muito baixas. A taxa à qual o contador (240) é incrementado é sempre conhecida com precisão, visto que o contador é incrementado a uma taxa fixada. A taxa de infusão é controlada subtraindo o termo (KP) deste número fixo (N) da taxa conhecida. Para valores muito baixos da taxa de infusão, o motor será controlado por forma a ser ligado e desligado, sendo desejável que isso se faça sem oscilação



ou variações abruptas do movimento da bomba. Pelo controlo da retroacção negativa através do termo (KP), consegue-se um funcionamento uniforme. Quando a contagem atinge um nível que excita o motor, é detectada imediatamente uma variação de posição e o contador (240) é decrementado pelo termo (KP). Para valores da taxa de infusão baixos, o decremento reduzirá a contagem abaixo do nível de excitação do motor, desligando o motor devido à retroacção negativa. O contador aumentará a contagem com uma cadência uniforme até que o motor seja de novo excitado, continuando este modelo de controlo assim desta maneira repetitiva controlada.

Com esta técnica de controlo, utilizam-se valores de (K) relativamente pequenos com valores da taxa de infusão relativamente elevados, enquanto que se usam valores de (K) relativamente grandes com taxas de infusão muito baixas. Uma tal relação resulta do facto de o termo de incrementação (N) ter uma cadência fixa. Esta relação proporciona a utilização de valores elevados de (K) para taxas de infusão baixas, quando é necessária uma resolução elevada para um controlo preciso de um valor baixo da taxa de infusão.

O termo K tem as seguintes duas expressões:

$$K = f/\text{taxa} \quad (1)$$

$$K = N_R/V_R \quad (2)$$

nas quais "taxa" é a taxa de fluxo ou caudal em ml/hora, N_R o número de impulsos (N) num ciclo de bombagem (ou rotação do motor da bomba). V_R é o volume em μl bombado numa rotação e f é um factor de conversão. O termo K exprime-se em unidades de número de impulsos N por μl . Portanto, a partir da primeira das duas expressões, f exprime-se em unidades de (impulsos N) (ml) / (μl . hora). Suponhamos agora que a cadência fixa de (N) é de um impulso (ou uma contagem crescente) de 2,5 em 2,5 ms, ou seja, uma cadência de impulsos de 400 impulsos por segundo. O factor de conversão f pode agora ser determinado, a partir de um cálculo de conversão directo, como sendo 1 440 (impulsos N) (ml) / (μl) (hora).



Um exemplo simples ilustra a utilização destas expressões na aplicação prática desta técnica de controlo segundo a presente invenção. Na fig. 1 vê-se que o conversor de caudal em velocidade recebe um caudal desejado pelo operador através do subsistema (120). Suponhamos que o caudal desejado é 100 ml/hora e que o volume bombado durante cada rotação do motor da bomba é 350 μ l. A expressão (1) dá agora

$$K = 1440/\text{taxa} = 1440/100 = 14,4$$

Resolvendo a equação (2) em ordem ao número N de impulsos numa rotação do motor da bomba, vê-se que

$$N_R = KV_R \quad (3)$$

Esta expressão (3) dá:

$$N_R = (14,4) (350) = 5\ 040$$

o que significa 5 040 impulsos N por cada rotação do motor da bomba. A partir da fig. 3, vê-se que há 128 posições do motor detectadas numa rotação da bomba. Dividindo 5 040 por 128 obtém-se um valor de K de 39,375. Assim, de cada vez que se produz um sinal de posição (P), teoricamente o contador (240) é decrementado por 39,375 para fazer funcionar o sistema de bombagem com o caudal desejado de 100 ml/hora.

Ao longo de um certo intervalo de tempo a contagem estabilizar-se-ia em torno de um valor dado, enquanto N e KP estariam sempre a aumentar. Assim, com o tempo é

$$N \approx KP$$

sendo cada um dos termos da expressão um múltiplo de 5 040, neste exemplo.

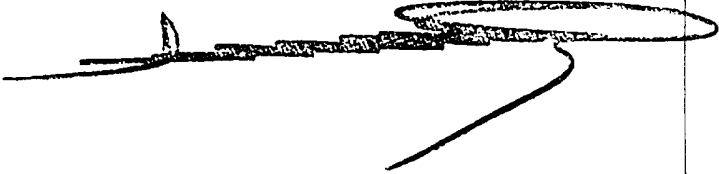
Fazendo agora referência às fig. 5, 6 e 7, o conversor de caudal em velocidade (108) e o controlador do motor (110) da fig. 1 estão ilustrados com mais pormenor. O cálculo do valor K é feito no subsistema (300), que recebe o sinal de posição de repouso, a determinação do último volume bombado a partir da



determinação do volume não bombado no subsistema (106) da fig. 1, e do valor do caudal desejado introduzido pelo operador. O subsistema (300) também recebe interrupções do distribuidor de tempos (T. INT) de um distribuidor de tempos de 2,5 ms (302). O distribuidor de tempos (302) aplica impulsos de interrupção a um contador divisor por oito (304) e a uma entrada de um comutador de duas posições (306). A saída do contador (304) está acoplada a uma segunda entrada do comutador (306). O braço do comutador (306) aplica impulsos (N) a uma entrada (ADD) de um adicionador de 16 bits (340). Numa outra entrada do adicionador (340) são subtraídos valores de K sempre que se verifica um sinal (P). Os oito bits inferiores (0-7) da saída do adicionador (340) são aplicados à entrada de um conversor D/A (350). O bit mais significativo seguinte, o bit 8, da saída do adicionador é aplicado a um detector de limite (344) e o bit 16 do sinal da saída do adicionador (340) é aplicado a um subsistema (342) de desactivação do conversor D/A. A saída do subsistema (342) está acoplada a uma entrada de desactivação do conversor D/A (350). A saída do detector de limite (344) é acoplada a uma entrada do subsistema (342).

A saída do conversor D/A (350) está acoplada a um modulador da duração dos impulsos (352), que produz impulsos com uma duração correspondente ao nível do sinal de entrada para o modulador. Os impulsos provenientes do modulador (352) são aplicados através de um transistor MOSFET (354) a uma bobina (360) do circuito do motor. A bobina (360) armazena e liberta energia dos impulsos aplicados para estabelecer uma tensão contínua através do motor (44) que está acoplado a uma fonte de alimentação (V_b). Em série com o motor (144) há disjuntores (364a) e (364b), que se abrem quando se excita uma bobina (364c). Em paralelo com o motor (44) e a bobina (360) está ligado um díodo (362).

A rotação do veio do motor (44) e da sua roda de accionamento faz com que os dentes da roda interrompam os feixes luminosos no codificador óptico (90). Os sinais de posição em quadratura do codificador são aplicados a um circuito sensor de mudança de posição (390). O sinal de repouso é aplicado ao subsistema (300). Um sinal de mudança de posição (P) é fornecido

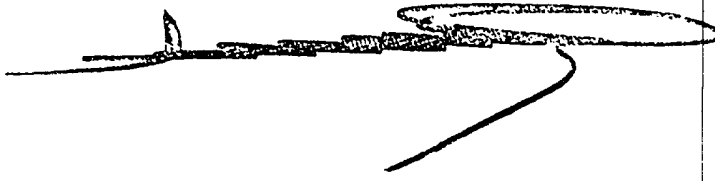


pelo circuito sensor (390) ao subsistema (300) e ao adicionador (340), bem como ao subsistema (106) de determinação do volume não bombado (fig. 1).

Em funcionamento, o total acumulado no adicionador (340) é incrementado continuamente pela adição de um impulso N todos os 2,5 ms, quando o comutador (306) estiver colocado na posição representada na fig. 5. Esta é a posição do comutador para os caudais relativamente elevados. Para caudais relativamente baixos, o comutador é colocado na sua outra posição. Os impulsos de interrupção do distribuidor de tempos, que se verificam todos os 2,5 ms são então divididos por oito, produzindo então um impulso N de 20 em 20 ms. A finalidade desta alteração de escala será explicada subsequentemente.

Sempre que seja detectada uma mudança de posição do motor pelo circuito (390) é produzido um impulso P , fazendo com que o adicionador (340) subtraia o valor de K do seu total acumulado. Assim, o total acumulado no adicionador (340) é incrementado todos os 2,5 ms ou todos os 20 ms por N impulsos e periodicamente decrementado por um valor K sempre que se produza um impulso P .

Os oito bits inferiores do adicionador (340) são ligados ao conversor D/A (350), que converte a contagem num nível analógico de tensão. Estes bits representam a expressão $N - K * P$. Por sua vez, o nível de saída do conversor D/A modula as durações dos impulsos produzidos pelo modulador de duração de impulsos (352) e a duração dos impulsos determina o nível de corrente contínua aplicado ao motor (44), e portanto a sua velocidade. Numa forma de realização construída, uma contagem do adicionador de cerca de 32 é o limiar para o qual o motor é excitado o suficiente para ele começar a rodar. As contagens superiores a 32 fazem rodar o motor com velocidades proporcionalmente mais elevada. Quando a contagem do adicionador atingir 256, o bit 8 do adicionador muda de estado, indicando uma condição de velocidade excessiva. Este bit é detectado pelo detector de limite (344) e usado, por uma programação para desligar a bomba. Quando o adicionador tiver uma contagem que atinge pela primeira vez 256, os bits inferiores 0-7 são inicialmente mantidos com a con-



tagem 255 para manter uma velocidade elevada do motor, enquanto que o sistema acompanha o funcionamento da bomba para determinar se se trata precisamente de uma condição momentânea. Se assim suceder, a contagem do adicionador será momentaneamente diminuída para um valor menor que 256. Mas se a contagem se mantiver acima de 256 durante um intervalo de tempo inaceitável, o detector de limite (344) disparará o subsistema (342) de desactivação do D/A e este conversor D/A é desactivado, retirando a tensão do motor.

Como atrás se mencionou, quando o sistema está a funcionar com caudais muito baixos, os valores de K são relativamente grandes. A subtracção destes valores grandes da contagem do adicionador provocará com grande probabilidade o aparecimento de um número negativo a acumular no adicionador até que os impulsos N incremente o total até um número positivo. Quando o adicionador retiver um número negativo, o bit 16 do sinal do adicionador faz com que o subsistema de desactivação do D/A desactive o conversor D/A. Isso impede que o conversor D/A responda aos valores de números negativos como se eles fossem positivos e também conserva a energia da bateria no sistema enquanto o adicionador está a ser incrementado até um valor positivo.

Um díodo de Zener detector de avarias (370) e uma resistência (372) estão ligados em paralelo com o motor e as resistências (374) e (376) ligam a junção do díodo (370) e da resistência (372) à base de um transistor (380). A bobina (364c) está ligada entre os colectores dos transistores (380) e (382) e a terra. Para protecção contra a aceleração do motor devido a avarias de componentes, tais como um curto-circuito do transistor MOSFET (354), o díodo de Zener segue continuamente a tensão de alimentação do motor. Uma tensão excessiva no motor faz com que o díodo (370) fique condutor, o que põe o transistor (380) condutor. A bobina (364c) será excitada para abrir os interruptores (364a) e (364b), desligando assim o motor da corrente de linha.

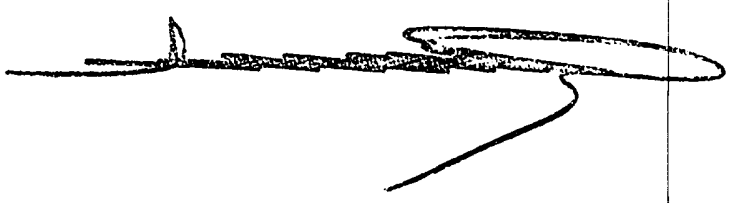
O transistor (382) responde ao funcionamento incontro-
lado do motor detectado num sistema desligação da bomba (não re-



presentado). Neste sistema, um distribuidor de tempos de vigi-
lância é chamado periodicamente pelo microprocessador do siste-
ma de controlo. Se o microprocessador detectar pelos sinais de
mudança de posição que o motor está a rodar sem ser comandado
para isso, o microprocessador interrompará o acesso ao distri-
buidor de tempo de vigilância. Depois de decorrido um interva-
lo de tempo pré-determinado sem que tenha sido solicitado pelo
microprocessador, o distribuidor de tempos de vigilância fará
com que o sistema de desligação da bomba excite o transistor
(382) e a bobina (364c), que abrirá os interruptores (364a) e
(364b) e desliga o motor da corrente de linha.

Para poupar energia da bateria, o codificador óptico
é operado apenas periodicamente. Por cada interrupção do dis-
tribuidor de tempos é excitado um dos emissores de feixes lumi-
nosos no codificador óptico (90) e a saída do seu sensor de fei-
xe correspondente é detectada e armazenada. Após terem decor-
rido 2,5 ms, a interrupção seguinte do distribuidor de tempo
faz com que seja excitado o circuito de detecção (390) e detec-
te o outro sinal óptico. Os estados dos sinais dos dois sen-
sores são comparados com os seus estados registados anterior-
mente. Se não se detectar qualquer alteração, não se produz
qualquer saída. Mas se se detectar uma mudança do estado de um
dos sinais, o circuito detector (390) produz um impulso P de
mudança de posição na sua saída. Esta técnica de comparação
é capaz de detectar sentidos de rotação quer positivos quer ne-
gativos e os subsistemas que utilizam o sinal de posição estão
condicionados para responder em conformidade com isso. O núme-
ro de impulsos P que ocorrem desde o último sinal de repouso
e portanto uma medida da posição presente da came, é acumula-
do por um contador de impulsos P no subsistema (300).

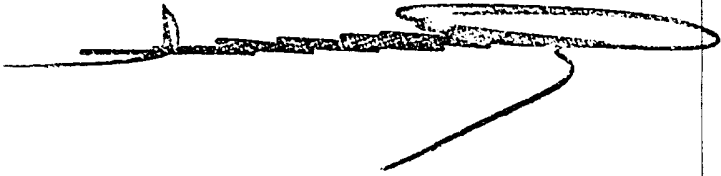
Numa forma de realização preferida da presente inven-
ção, as funções do subsistema (300) de cálculo de K são reali-
zadas eficientemente por rotinas de programação do microproces-
sador, esboçadas nos fluxogramas das fig. 6 e 7. Começando na
parte superior do fluxograma da fig. 6, o volume total de solu-
ção que a bomba distribuiu anteriormente durante o processo de
infusão anterior (volume total bombado) é actualizado adicio-



nando o volume bombado durante o último ciclo de bombagem, medido pelo subsistema (106), à acumulação actual. Calcula-se depois o caudal medido (líquido) no decurso do processo, dividindo o volume total bombado pelo tempo durante o qual a bomba esteve a funcionar (duração total da bombagem). O caudal medido durante o último ciclo de bombagem é calculado dividindo o último volume bombado pela duração da última rotação da bomba. Calcula-se em erro (líquido) do caudal de longo prazo subtraindo a medida líquida do caudal, do caudal desejado pelo operador (caudal desejado líquido). Calcula-se um erro do caudal de curto prazo no decurso do ciclo de bombagem anterior (último erro do caudal) subtraindo a última medida do caudal do caudal desejado da última rotação da bomba. Para proporcionar uma resposta rápida a uma variação importante do caudal, calcula-se um termo derivado obtendo a média de uma soma ponderada dos vários últimos erros do caudal. Calcula-se agora um caudal desejado para a rotação seguinte da bomba (caudal estabelecido) ponderando e somando o caudal desejado líquido e o erro líquido do caudal, o último erro do caudal e o erro de caudal derivado. A escolha dos valores dos factores de ponderação G1, G2 e G3 proporciona um meio para escolher a resposta desejada do sistema às variações de vários parâmetros de funcionamento a longo prazo e a curto prazo.

O cálculo do ajustamento dos caudais, expressos em ml/h, foi ajustado para a deformação positiva da cassete, visto que ele se inicia a partir do volume efectivamente bombado durante o último ciclo da bomba, tal como é medido pelo subsistema da medição da deformação positiva. Assim, o número efectivo em geral aparece maior que o fluxo desejado ajustado pelo operador. Se a cassete tiver uma deformação positiva de 50%, por exemplo, o caudal ajustado para um valor do caudal da infusão desejado de 100 ml/h, aparecerá como 200 ml/h em consequência do ajustamento da deformação positiva. Compreender-se-á do exposto que o cálculo do ajustamento do caudal arrastará continuamente o sistema para o caudal desejado.

Uma vez determinado o valor do caudal há várias maneiras de chegar ao valor apropriado de K para o anel de controlo



do motor. Uma solução directa seria a utilização o valor do ajustamento do caudal para obter acesso directamente a tabelas de consulta de valores de K. Cada valor do ajustamento do caudal daria acesso a um valor de K corresponde a partir da tabela, ou a uma série de valores de K a usar em vários instantes durante o ciclo de bombagem. Por exemplo, o valor do ajustamento do caudal pode corresponder a dois valores de K, um a usar durante o funcionamento de bombagem e outro a usar durante o funcionamento de enchimento. Mais de dois valores de K poderiam ser usados para acelerar, depois retardar a bomba durante o ciclo, por exemplo.

Foi calculada uma tal tabela de consulta dos valores de K, mas verificou-se que utiliza uma capacidade significativa da memória. Por conseguinte, prefere-se calcular K de acordo com rotinas de programação, esboçadas no fluxograma da fig. 7. Calculam-se os novos valores de K em cada ciclo de bombagem começando num instante pré-determinado do ciclo de bombagem, tal como a ocorrência do sinal da posição de repouso. Em primeiro lugar, o programa determina se o valor de ajustamento do caudal cai dentro de uma faixa de caudais elevados (RÁPIDA), de caudais moderados (MODERADA) ou de caudais baixos (LENTA). Se o valor estiver na faixa elevada, por exemplo 740 ml/h no exemplo seguinte, o programa segue pela coluna da esquerda do fluxograma.

O primeiro passo em cada ramo do fluxograma consiste em calcular os valores TC da contagem de interrupções do divisor de tempo por cada rotação da bomba. Suponhamos que a medição da deformação positiva determinou que são bombados 300 μ l efectivamente durante cada ciclo de bombagem. Utilizando as expressões (1) e (3) anteriores, vê-se que

$$N_R = 1440/740 \times 300 = 584 \text{ TC/rot.}$$

A fase seguinte consiste em distribuir os 584 TC/rot por 128 posições da bomba. O quociente de 584 por 128 dá um valor inicial K_0 de quatro para cada posição, com um resto REM de 72. As 128 posições da bomba são agrupadas em quatro grupos de 32 posições, dois para o funcionamento de bombagem e dois para



o funcionamento de enchimento. Os valores de K_0 neste exemplo para cada posição nos quatro grupos são 4, 4, 4, e 4, respectivamente.

Distribui-se agora o resto 72 em incrementos de 32 por cada grupo de 32 posições, começando no grupo das últimas 32 posições de enchimento. O número 32 é subtraído do resto 72, dando um outro resto igual a 40. Como o resto ulterior é positivo, os valores de K para as posições no último grupo são incrementados para 5, sendo agora a sequência dos quatro grupos 4, 4, 4, 5.

Diminui-se novamente de 32 o resto 40, o que dá novamente um resto positivo, agora igual a 8. O resto positivo exige que seja incrementado um outro grupo, sendo a sequência dos quatro grupos agora 4, 4, 5, 5.

Diminui-se novamente de 32 o resto 8, obtendo-se neste caso um resto negativo. Em resposta a este resultado negativo, a rotina sai do anel e os valores de K para o ciclo seguinte são 4, 4, 5, 5.

Isso significa que, para os primeiros 32 impulsos P do ciclo da bomba é usado um valor 4 para K. A soma dos valores K para este quarto de ciclo é pois 128. O mesmo valor 4 de K é usado durante a segunda metade do funcionamento de bombagem e os valores totais de K durante a bombagem somam portanto 256.

Analogamente, usa-se um valor 5 para os 64 impulsos P do funcionamento de enchimento, dando um valor acumulado de 320 para K durante o funcionamento de enchimento. Durante a bombagem e o enchimento, o total do valor K 576 é subtraído do valor da contagem total do adicionador e, durante este tempo o adicionador é incrementado de 576 N impulsos. Isto está dentro dos 1,4% do 584 TC/rotação desejados, o que significa que a bomba estará a funcionar ligeiramente mais rapidamente que o desejado. Este pequeno erro será ajustado durante a repetição do cálculo do valor do caudal depois de ter terminado o novo ciclo de bombagem.

Para ilustrar o ramo médio do fluxograma suponhamos que o valor do ajustamento do caudal é 85 ml/h e que o volume



medido bombado numa rotação é 302,2 μ l. Usando mais uma vez as expressões (1) e (3) vê-se que $N_R = 1440/85 \times 302,2 = 5120$ TC/rot. Para este caudal de infusão moderado usa-se um valor pré-determinado de K para manter o caudal de enchimento com um valor equivalente de cerca de 175 ml/h. O valor pré-determinado de K para cada posição durante o enchimento é 16, para um valor de K acumulado de 1024 nas 64 posições de enchimento. O valor de 5120 TC/rot. é reduzido por subtração deste valor acumulado de K para dar um valor de 4096, que têm de ser distribuídos pelo ciclo de bombagem. Dividindo 4096 pelas 64 posições de bombagem obtém-se um valor de K de 64, que é subtraído em cada ocorrência de um impulso P durante o funcionamento de bombagem. Assim, para este exemplo subtrai-se um K igual a 16 da contagem acumulada do adicionador em cada posição durante o enchimento e subtrai-se um K igual a 64 em cada posição de bombagem, para um K total de 5120 igual ao número esperado de impulsos N. Vê-se que estes valores K para o caudal moderado são substancialmente maiores que 4 ou 5 usados no exemplo do caudal elevado.

O terceiro ramo do fluxograma, correspondente aos caudais baixos é uma modificação do procedimento para os caudais moderados. Para estes caudais muito baixos os TC/rot. esperados são muito significativos. Por exemplo, um caudal de 1 ml/h, usando uma cassete que faz a bombagem de 300 μ l por rotação conduziria a um valor de TC/rot. de 432 000. Porém, para manter uma contrapressão positiva durante a maior parte do ciclo de bombagem, a cassete é mais uma vez cheia com o caudal equivalente de 175 ml/h, exigindo um valor total de K de 1024. O valor TC/rot. é decrementado pelo valor TC_{fill} . O ciclo de bombagem começa com o mesmo caudal de 175 ml/h e supervisiona-se a pressão da cassete até que se estabilize a pressão de saída uma vez que se atinga a pressão de cisão de saída e se abra a válvula de saída. Isso pode levar, por exemplo, dez posições de bombagem, que acumulam 160 valores de K. Este número, designado por $TC_{para\ cisão}$ é também subtraído do valor TC/rot. Depois destas duas operações a bomba foi enchida rapidamente e rapidamente bombada para estabelecer uma contrapressão positiva no local da infusão.



Mas o valor TC/rot. decrementado é ainda maior que 430 000, sendo agora este número distribuído pelo número restante de posições de funcionamento de bombagem, neste exemplo 54, para estabelecer o caudal desejado de 1 ml/h. Isso fornece um K muito grande, de quase 8 000. Para pôr o sistema à escala deste valor elevado, dividem-se os valores K por 8, o que dá um K para as restantes posições de bombagem K_{PR} de aproximadamente 1000. Correspondentemente, o comutador (306) é comutado para dividir o trem de impulsos de interrupção do divisor de tempo por 8, o que estabelece a escala para o número de impulsos N.

Com alternativa à realização da redução à escala no fim dos cálculos, como se mostra fig. 7, pode ser preferível começar a sequência de cálculo com números previamente reduzidos à escala. Como a bombagem efectiva do líquido começa apenas depois de ter sido atingida a pressão de cisão de saída, depois das primeiras dez posições de bombagem, o líquido só está a ser bombado durante as últimas 54 das 64 posições de bombagem. Portanto, o volume bombado durante um ciclo de bombagem completo, neste exemplo ilustrativo 350 μ l, tem de ser multiplicado por 54/64. Isso dá um volume por rotação de 295,3 μ l. Calculam-se então as expressões (1) e (3) agora usando este valor, e usando um valor reduzido à escala de $f/8 = 1440/8 = 180$. Assim, vê-se que

$$N_R = 180/1 \times 295,3 = 53\ 154 \text{ TC/rot.}$$

O valor TC_{fill} de K é reduzido à escala dividindo-o por 8, para dar $1024/8 = 128$ e o valor $TC_{para\ cisão}$ é igualmente reduzido à escala, dando $160/8 = 20$. Subtraindo estes dois valores de 53 154 resulta para TC/rot o valor de 53 006, a distribuir pelas 54 posições de bombagem nas quais é distribuído líquido. Vê-se que o valor K por posição de bombagem é aproximadamente 982. Os valores reduzidos à escala de 2 para cada um das 64 posições de enchimento e 2 para cada uma das 10 posições de bombagem até que se abre a válvula de saída são usados durante aquelas fases do ciclo de bombagem.

Compreender-se-á que, para este caudal muito baixo de



- 1 ml/h a bomba avança de 1 posição em cerca de 20 s. Também, pode ver-se que cada subtracção de um valor K da ordem de 1 000 levará a contagem do adicionador a um valor substancialmente negativo, que estabelece o modo de funcionamento de arranque e paragem do motor necessário para manter o caudal de infusão muito baixo.

REIVINDICAÇÕES

- 1ª -

Sistema de bombagem de líquidos que inclui uma câmara de bomba que pode apresentar deformação positiva e que é susceptível de operar num ciclo de enchimento e num ciclo de bombagem, caracterizado por compreender:

meios para medir a pressão no interior da referida câmara durante o enchimento e durante a bombagem; e

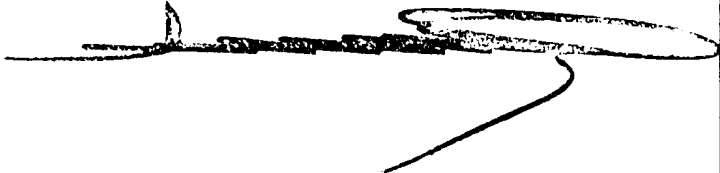
meios para determinar a porção de um ciclo ao longo do qual a pressão no interior da referida câmara está a sofrer uma transição entre uma pressão de bombagem substancialmente constante e uma pressão de enchimento substancialmente constante, em que a relação entre a referida porção do referido ciclo total indica a deformação positiva da referida câmara.

- 2ª -

Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente:

meios para determinar a relação da referida porção para o referido ciclo total, e

meios para calcular o produto da referida relação pelo referido nominal da referida câmara para determinar o volume de líquido não bombado à referida deformação positiva.



- 3a -

Sistema de acordo com a reivindicação 2, caracteriza-
do por compreender adicionalmente:

meios para subtrair o referido volume de líquido não bomba-
do devido à referida deformação positiva do referido volume no-
minal da referida câmara para determinar o volume de líquido
bombado pelo referido sistema.

- 4a -

Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracteriza-
do por a referida porção de um ciclo ser uma porção do referido
ciclo de enchimento e por o referido ciclo total ser o ciclo de
enchimento total.

- 5a -

Sistema de bombagem de líquidos que bomba líquidos por
meios com movimento alternativo para deslocar líquido para den-
tro e para fora de uma câmara de bomba em ciclos alternados de
bombagem e de enchimento, caracterizado por compreender:

meios para determinar o deslocamento dos referidos meios
que se deslocam na referida câmara;

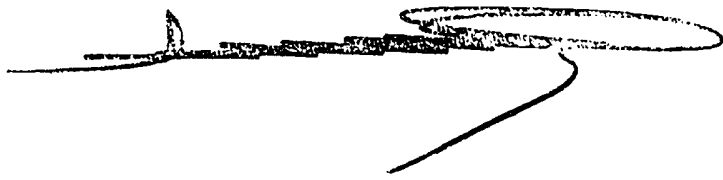
meios para medir a variação do deslocamento dos referidos
meios se deslocam quando a pressão no interior da referida câma-
ra sofre uma transição entre um nível de pressão de enchimento
e um nível de pressão de bombagem.

- 6a -

Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracteriza-
do por o referido nível de pressão de enchimento ser um nível de
pressão mínima e o referido nível de pressão de bombagem ser um
nível de pressão de ponta.

- 7a -

- 28 -



Sistema de acordo com a reivindicação 6, que compreende adicionalmente meios para determinar a relação entre a referida variação do deslocamento e o deslocamento total dos referidos meios que se deslocam durante o ciclo no qual se verifica a referida variação do deslocamento, caracterizado por a referida relação ser uma medida da deformação positiva da referida câmara.

- 8a -

Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por compreender adicionalmente meios para determinar o produto da referida relação pelo volume nominal da referida câmara para medir o volume de líquido que não foi bombado devido à deformação positiva.

- 9a -

Sistema de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender adicionalmente meios para subtrair o referido volume de líquido que não foi bombado devido à deformação a partir do referido valor nominal para determinar o volume de líquido bombado pelo referido sistema.

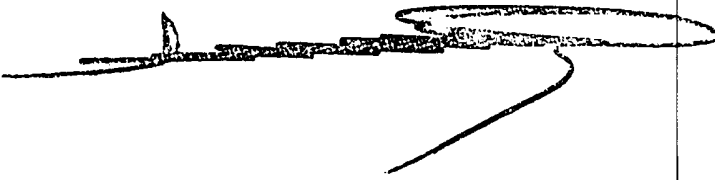
- 10a -

Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por o referido ciclo em que se verificou a referida variação do deslocamento ser um ciclo de enchimento.

- 11a -

Processo medir a deformação positiva de uma câmara de bombagem de um líquido no qual um dispositivo para deslocar o líquido é deslocado para dentro e para fora da referida câmara em ciclos alternados de bombagem e de enchimento, caracterizado por compreender as fases de:

a) medição de um nível de pressão de bombagem substancial-



mente constante;

b) medição de um nível de pressão de enchimento substancialmente constante;

c) medição de variação do deslocamento dos referidos meios que se deslocam quando a pressão sofre uma transição entre os referidos níveis de pressão de bombagem e de enchimento; e

d) divisão da diferença entre os referidos níveis de pressão de bombagem e de enchimento pela referida variação do deslocamento para obter uma medida da deformação.

- 12ª -

Processo de acordo com reivindicação 11, caracterizado por compreender adicionalmente a fase de:

e) divisão da referida medida da deformação pela variação total do deslocamento dos referidos meios que se deslocam durante o ciclo no qual se mediu a referida variação do deslocamento para obter uma relação de deformação.

- 13ª -

Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por compreender adicionalmente a fase de:

f) multiplicação da referida relação de deformação pelo volume nominal da referida câmara para determinar o volume de líquido não bombado devido à deformação.

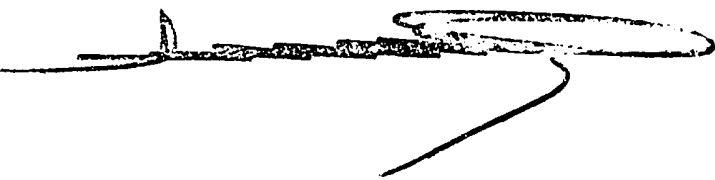
- 14ª -

Processo de acordo com a reivindicação 13, caracterizado por compreender adicionalmente a fase de:

g) subtração do referido volume de líquido não bombado devido à deformação a partir do referido volume nominal para determinar o volume de líquido bombado.

- 15ª -

- 30 -



Processo de operação de um sistema de bombagem de líquidos que inclui uma câmara de bomba tendo uma entrada e uma saída, com uma válvula colocada na referida saída que se abre quando se atinge um dado nível de pressão no interior da referida câmara, podendo o referido sistema de bombagem ser operado numa operação de enchimento durante a qual a referida câmara é cheia com líquido e numa operação de bombagem durante a qual se aplica pressão ao líquido no interior da câmara referida, caracterizado por compreender:

a operação do referido sistema de bombagem com uma determinada velocidade durante a referida operação de enchimento;

a operação do referido sistema de bombagem a uma velocidade pré-determinada durante uma porção inicial da referida operação de bombagem até ser atingido o referido nível de pressão dado; e

depois disso, durante a operação de bombagem, a operação do referido sistema de bombagem a uma velocidade que proporciona um fluxo desejado de líquido.

- 16a -

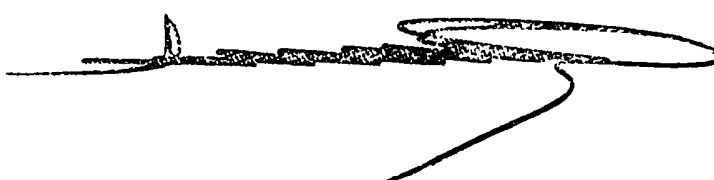
Processo de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por cada uma das velocidades pré-determinadas ser maior que a referida velocidade que proporciona um fluxo desejado de líquido.

- 17a -

Processo de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por cada uma das referidas velocidades pré-determinadas ser igual à outra.

- 18a -

Sistema de bombagem de líquidos no qual do deslocamento dos meios para a bombagem de um líquido resulta um movimento relativo correspondente de duas placas de condensador, caracte-



— rizado por compreender:

meios para excitar as referidas placas com um sinal de corrente alternada; e

meios para a detecção síncrona da modulação de amplitude do referido sinal de corrente alternada produzida por variações da capacidade eléctrica das placas

sendo a referida modulação de amplitude detectada representativa de uma característica do líquido bombado pelo referido sistema.

- 19ª -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por a referida característica ser a força aplicada pelos referidos meios de bombagem e por compreender além disso meios para a digitalização da referida modulação de amplitude detectada representativa da referida força.

- 20ª -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 19, caracterizado por os referidos meios para a digitalização incluírem meios para efectuar uma aproximação sucessiva de um sinal digital representativo de uma força.

- 21ª -

Sistema de bombagem de líquidos compreendendo um aparelho para controlar a velocidade de um motor da bomba, caracterizado por compreender:

meios para detectar o movimento do motor;

meios para calcular um factor de controlo da velocidade baseado numa velocidade de bombagem desejada;

uma fonte de sinais que ocorrem com uma cadência pré-determinada;



meios contadores que são incrementados em correspondência com os referidos sinais recorrentes e que são decrementados em correspondência com o movimento detectado do motor e o referido factor de controlo da velocidade, para produzir um sinal de controlo do motor; e

meios para alimentar o referido motor da bomba em resposta ao referido sinal de controlo do motor.

- 22a -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por os referidos meios para detectar o movimento do motor compreender um sensor de posição.

- 23a -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 22, caracterizado por os referidos meios contadores serem decrementados por uma quantidade K sempre que for detectada uma variação de posição do motor num sentido dado.

- 24a -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por os referidos sinais recorrentes serem representados por um termo N, as referidas variações na posição do motor serem representadas por um termo P e o referido sinal de comando do motor ser representado pela expressão $N - K \times P$.

- 25a -

Sistema de bombagem de líquidos de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por os referidos meios para a alimentação do referido motor incluir um conversor de digital para analógico e um modulador de duração de impulsos.

A requerente declara que o primeiro pedido desta patente foi apresentado nos Estados Unidos da América em 13 de Março de 1987, sob o número de série 025,314.

Lisboa, 11 de Março de 1988

O AGENTE OFICIAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

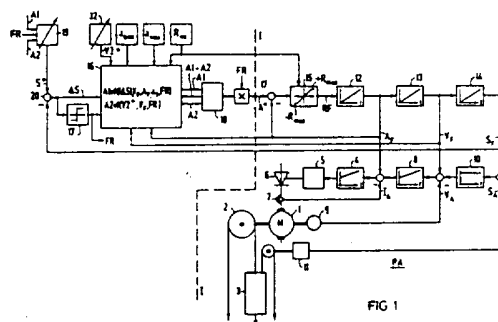


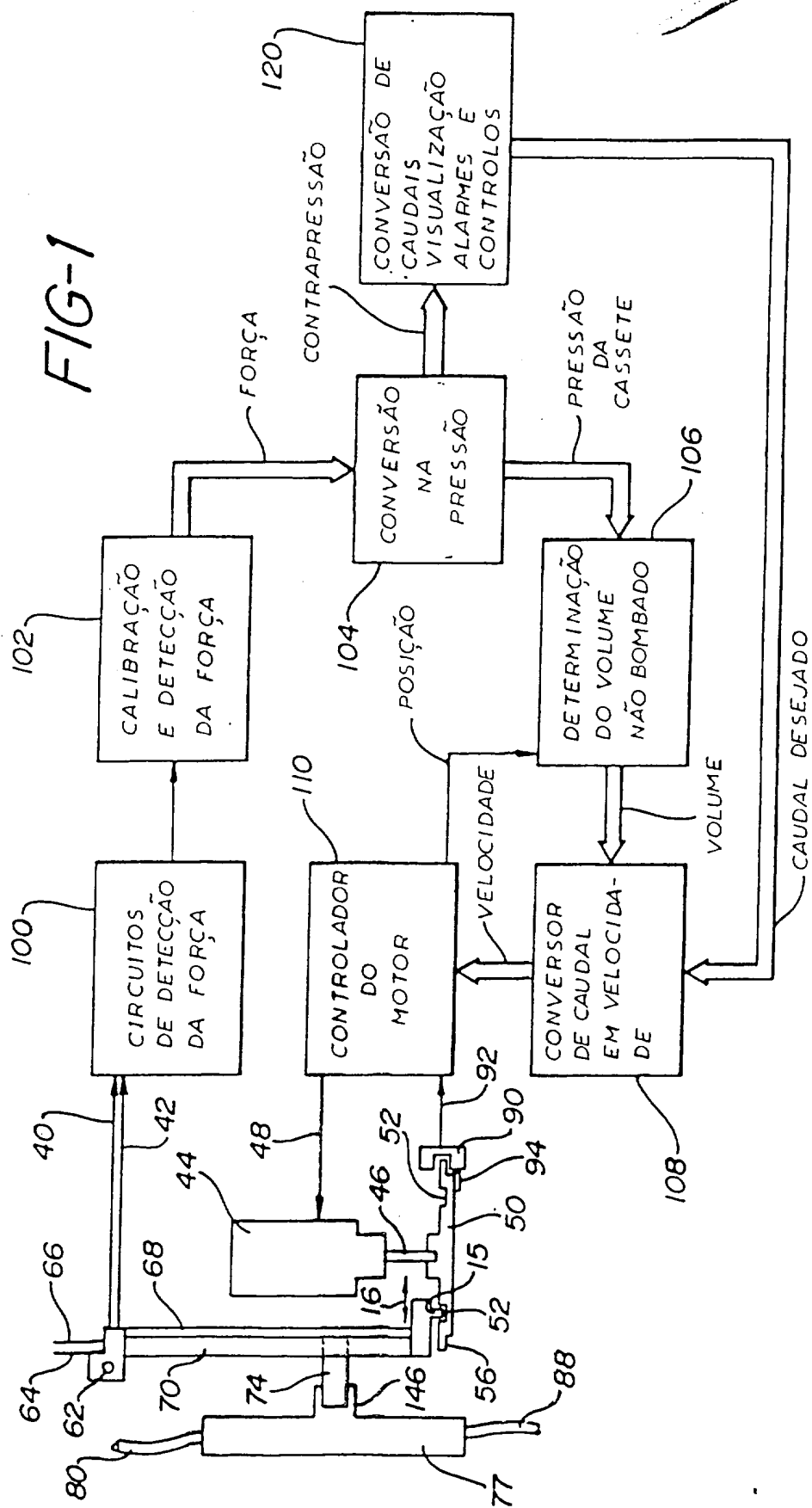
RESUMO

"SISTEMA DE CONTROLO DE UMA BOMBA"

A invenção refere-se a um sistema de controlo de uma bomba no qual o mecanismo de bombagem provoca um movimento correspondente de duas placas de condensador. As placas são excitadas por sinal de corrente alternada e o sinal produzido pelas placas é detectado em amplitude, representando a modulação da amplitude a força de bombagem. A força de bombagem é convertida em pressão de bombagem. Detecta-se o pico da pressão de bombagem durante a bombagem e o mínimo da pressão durante o enchimento, para determinar a porção de um ciclo de bombagem necessário para fazer a transição entre estes dois níveis de pressão. A diferença entre os dois níveis de pressão dividida pela porção de transição do ciclo de bombagem dá uma medida de formação positiva da câmara da bomba. A relação entre a medida da deformação positiva e o ciclo total, multiplicada pelo volume nominal da câmara, dá uma medida do volume não bombado, que é subtraída do volume nominal para dar o volume actualmente durante o ciclo de bombagem. O volume bombado é comparado com um caudal desejado para determinar um valor de controlo da velocidade para o motor do mecanismo de bombagem. Forma-se um sinal de controlo do motor subtraindo de um número constante um valor que é um factor do valor de controlo da velocidade e a posição do motor.

Figura 1.



[illegible]

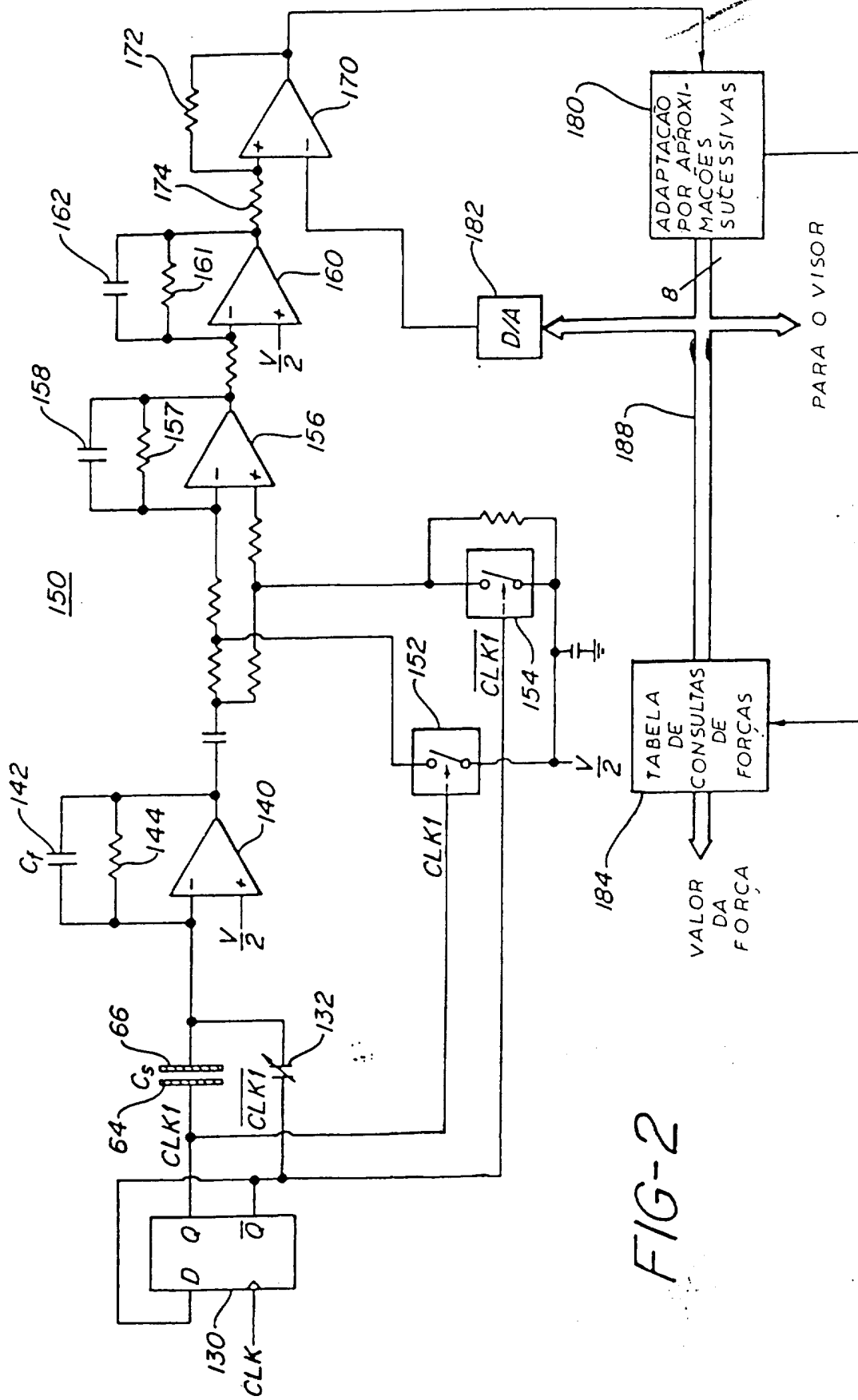


FIG-3

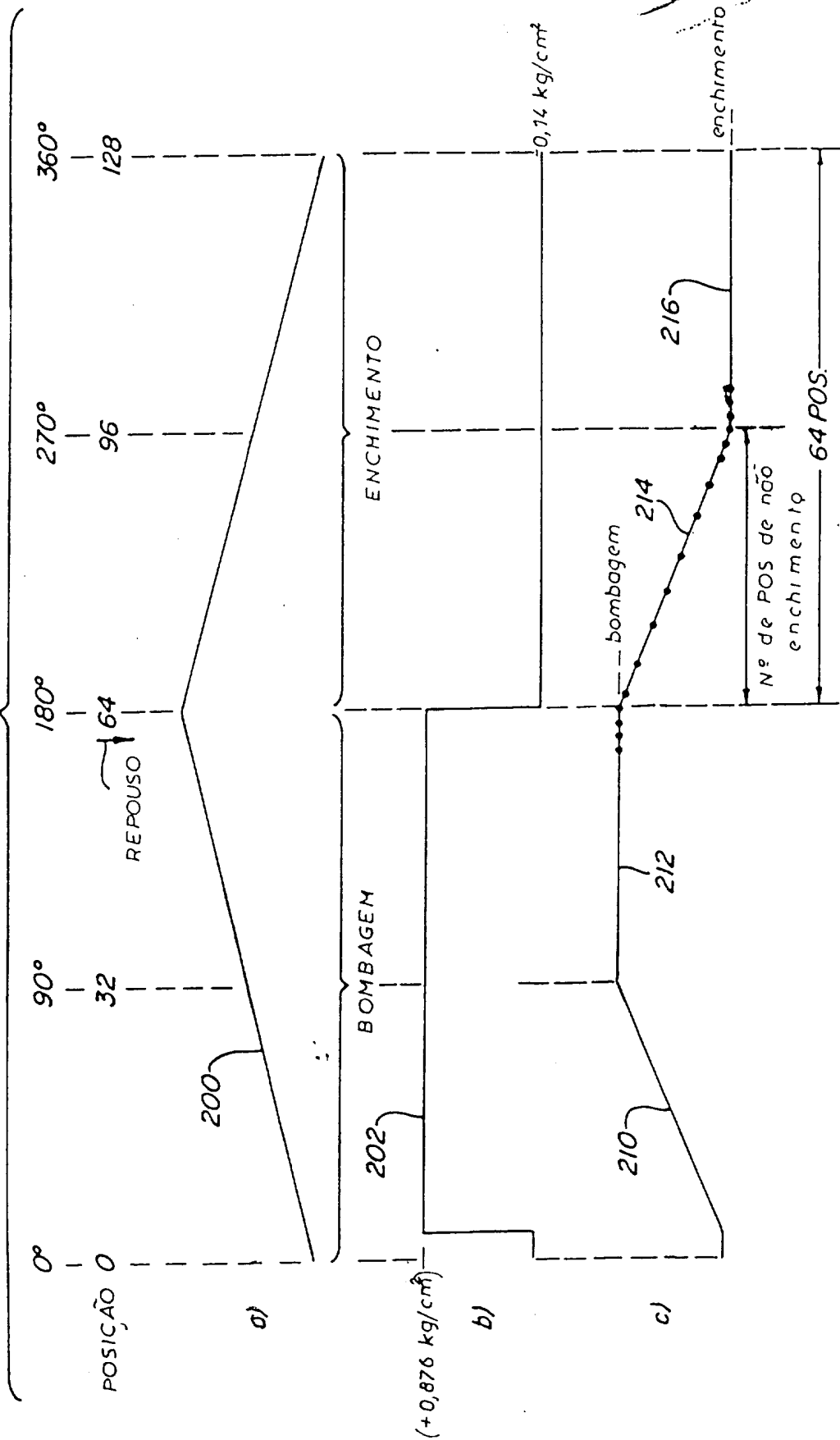


FIG-4

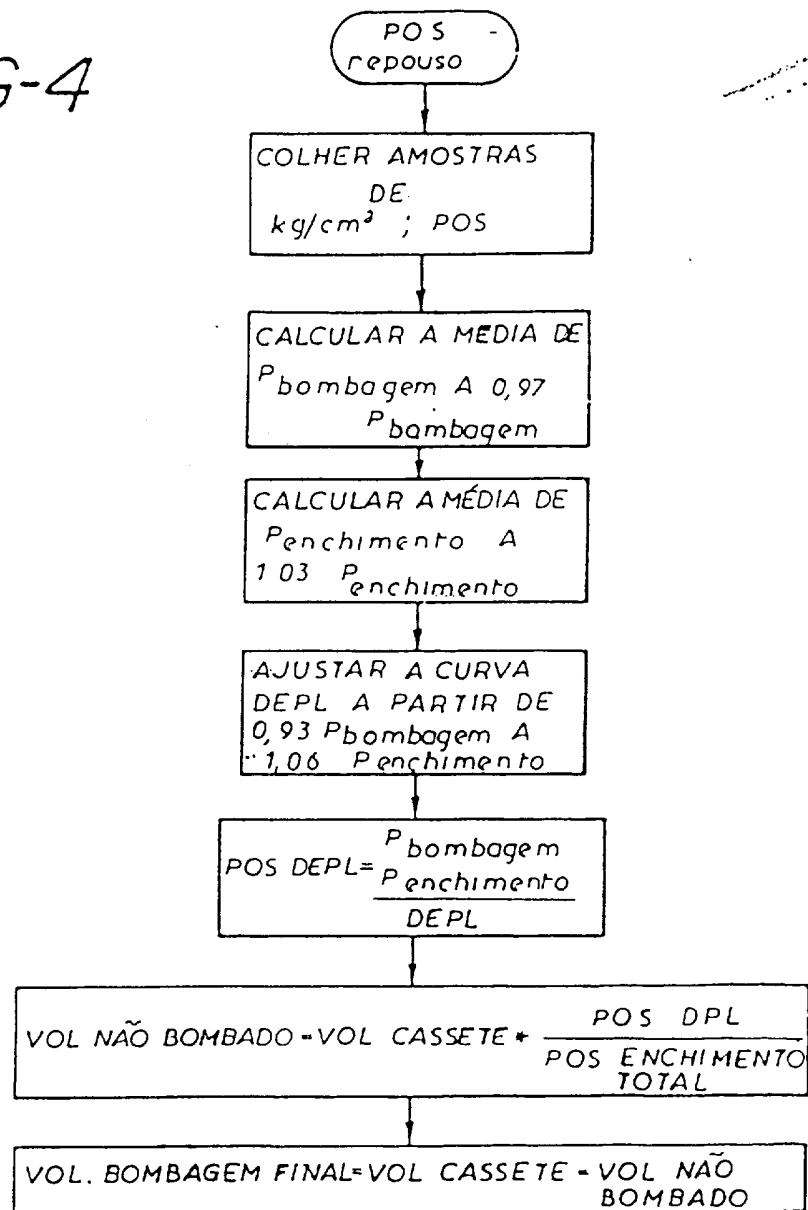


FIG-5a

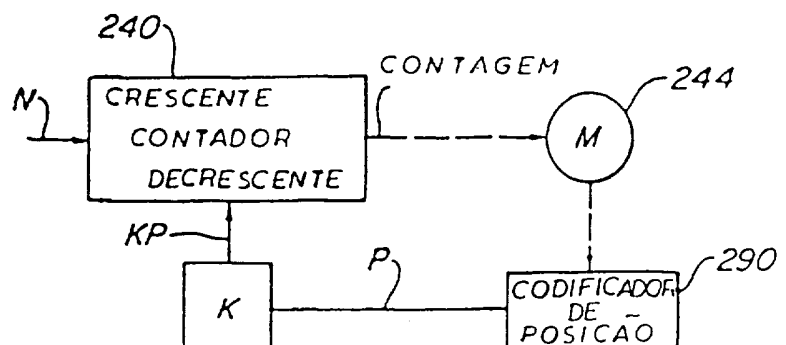


FIG-5

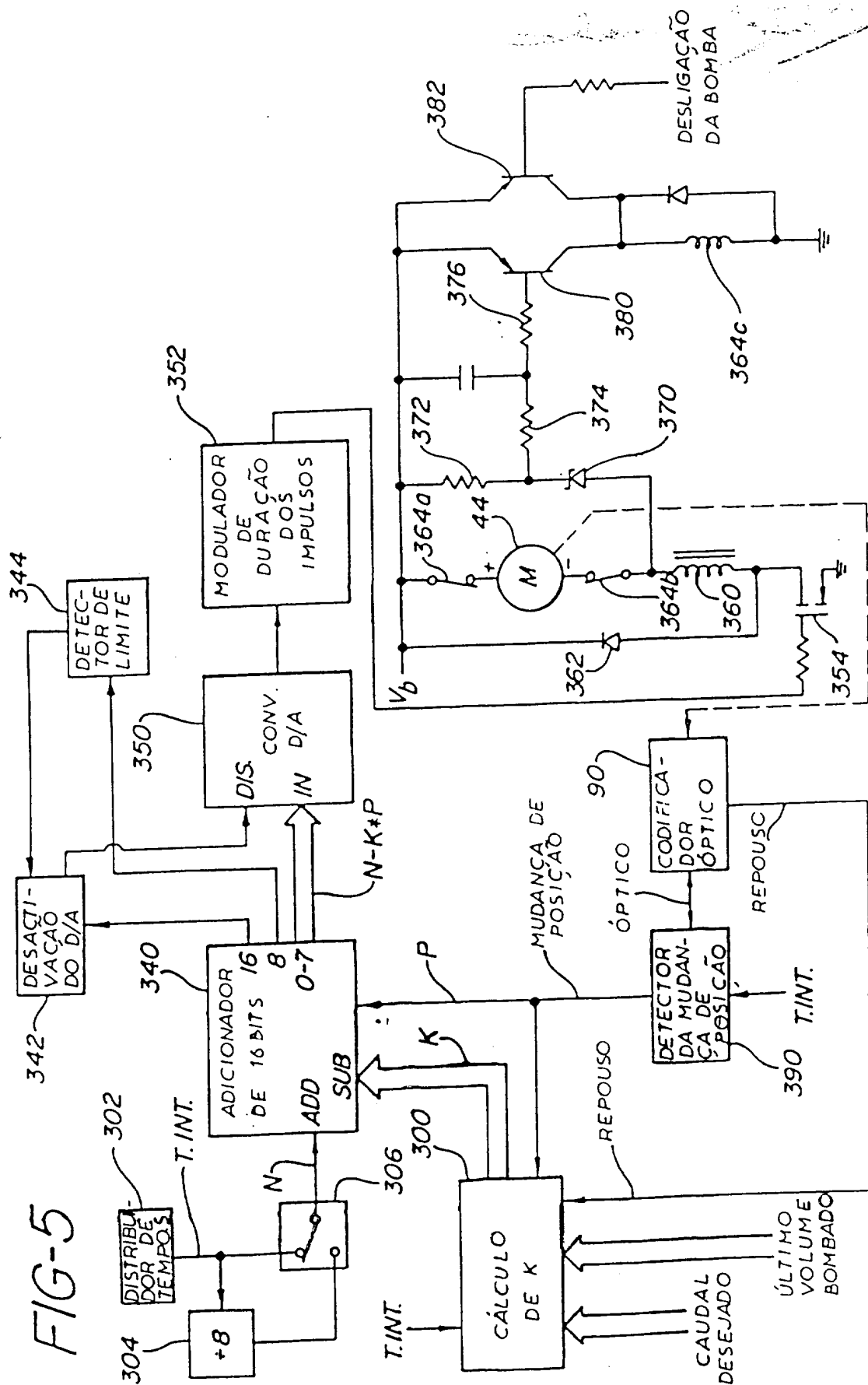


FIG-6

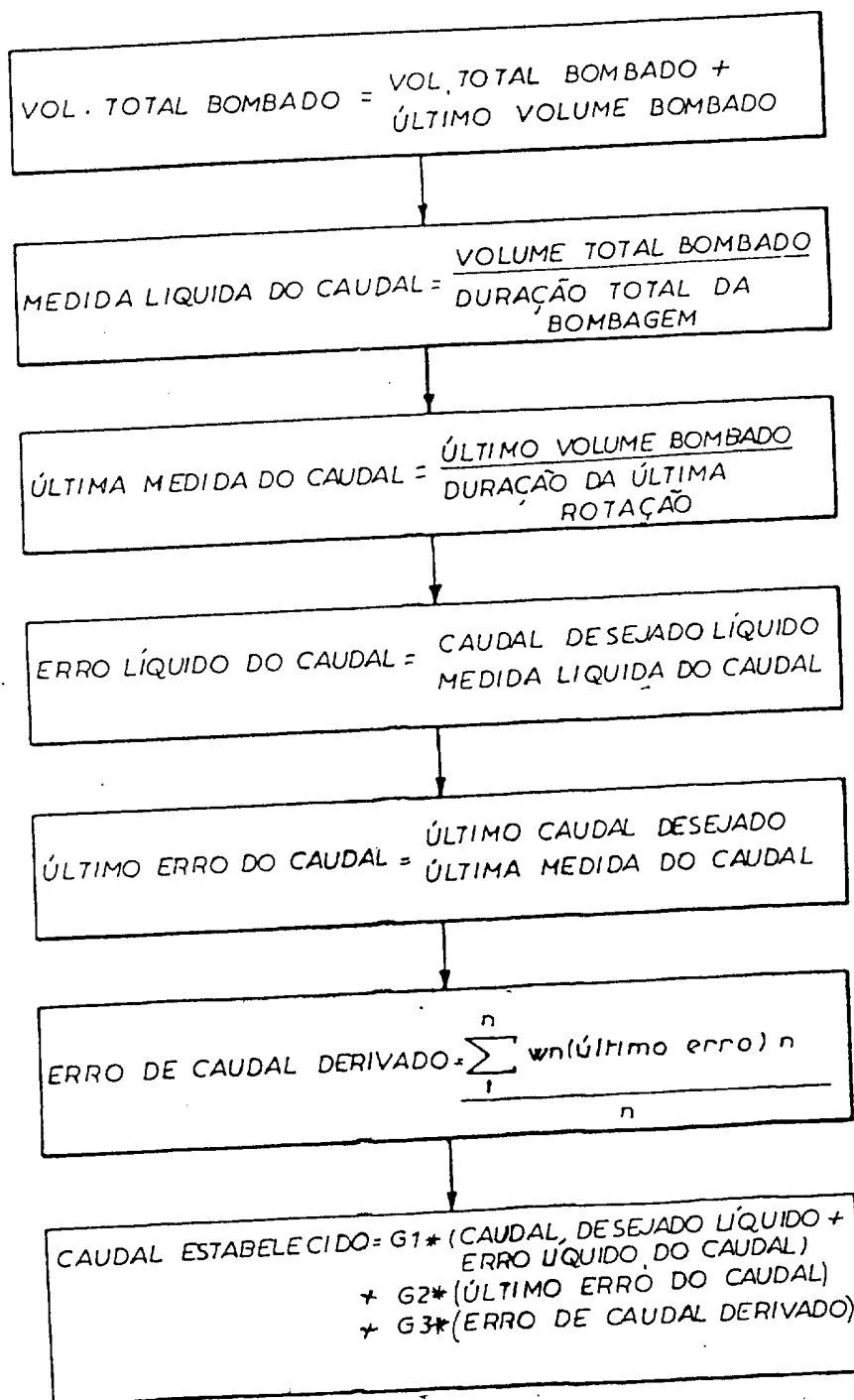


FIG-7

