

MEMÓRIA DESCRITIVA

DA

PATENTE DE INVENÇÃO

Nº 94.609

NOME: CABOT CORPORATION, norte americana, (Estado de Delaware),
industrial, com sede em 950 Winter Street, Waltham,
MA 02254-9073, Estados Unidos da América

EPÍGRAFE: "MÉTODO DE CONTROLO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
NEGRO DE FUMO E RESPECTIVO APARELHO".

INVENTORES: CHARLES R. BLAYLOCK, MELVIN C. DENNIS, DAVID
J. KAUL, JAMES L. RICE e THOMAS L. WEAVER.

Reivindicação do direito de prioridade ao abrigo do artigo
4º da Convenção da União de Paris de 20 de Março de 1883.
Nos Estados Unidos da América em 6 de Julho de 1989,
sob o Nº 376.792

Wifama

RESUMO:

A invenção refere-se a um método de controlo do processo de produção de negro de fumo e respectivo aparelho segundo o qual se medem as variáveis da alimentação, tais como o caudal do material de alimentação a sua qualidade, o caudal de entrada do ar, a humidade do ar, a temperatura do ar, o caudal do combustível, a qualidade do combustível e/ou o caudal de entrada da solução de aditivo de potássio, em intervalos regulares, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento. Depois, em intervalos regulares de tempo, prevêem-se os valores duma ou mais variáveis de saída do negro de fumo, tais como o índice de iodo e/ou de DBP, de acordo com um logarítmo de previsão com base nos valores das variáveis de entrada determinadas. Em seguida, a intervalos cronológicos regulares, calculam-se os valores médios previstos para as variáveis da saída, tais como o índice de iodo e/ou o fosfato de dibutilo (DBP). Com base nos valores médios das variáveis de saída previstas, uma ou várias variáveis de entrada são depois reguladas para se atingirem os valores pretendidos para as variáveis de saída previstas, e assim obter um negro de fumo de qualidade substancialmente consistente. Os valores das variáveis de saída previstas são também determinadas em laboratório a partir de amostras do negro de fumo produzido em intervalos de tempo regulares enquanto o reactor de negro de fumo está a funcionar. Depois, com base tanto nos valores previstos, como nos valores medidos das variáveis de saída, o algoritmo da previsão é regulado para aperfeiçoar a exactidão da previsão das variáveis da saída e assim produzir negro de fumo de qualidade substancialmente consistente.

Wifama

Sector técnico da invenção

A presente invenção refere-se a controlos de processo, e mais especificamente, a controlos de processo para controlar a produção de negro de fumo.

Informação técnica anterior

Na produção de negro de fumo é conveniente controlar determinados valores de variáveis de saída do negro de fumo, a fim de produzir negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente. Os valores das variáveis de saída de negro de fumo que são frequentemente o objectivo principal do controlo são o índice de iodo e do DBP. Devido ao facto de os valores das variáveis de entrada e outros parâmetros físicos dos processos de produção do negro de fumo mudarem frequentemente enquanto o negro de fumo é produzido, tem-se verificado que é difícil produzir negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente. As variáveis de entrada cujos valores são frequentemente flutuantes durante os processos de produção de negro de fumo são, por exemplo, a humidade do ar e a qualidade do combustível. As flutuações nas variáveis de alimentação podem ter uma influência significativa nas variáveis de saída do negro de fumo, tais como o índice do iodo e/ou de DBP. De modo semelhante, outros parâmetros físicos não mensuráveis alteram-se frequentemente durante o processo de produção do negro de fumo, e também influenciam os valores das variáveis de saída do negro de fumo, tais como o índice de iodo e/ou do DBP.

Nalguns métodos de produção de negro de fumo já conhecidos, tomam-se as amostras do negro de fumo produzido a intervalos regulares, por exemplo uma amostra de poucas em poucas horas de operação. Depois medem-se em cada amostra os valores das variáveis de saída, tais como o índice de iodo e/ou de DBP. Em seguida, o operador ajusta uma ou mais variá

veis de entrada, tais como o caudal do material de alimentação, depois de cada amostra ser experimentada nos testes. O ajustamento feito pelo operador baseia-se, geralmente, na sua própria experiência subjectiva com o método especial de produção do negro de fumo, a fim de tentar levar os valores das variáveis de saída, tais como o índice de iodo e/ou do DBP, novamente para os seus valores pretendidos.

Um problema com estes conhecidos métodos de controlo da produção de negro de fumo reside em que as variáveis de saída do negro de fumo, tais como o índice de iodo e/ou do DBP, não são controladas durante os intervalos de tempo entre as amostras. Portanto, se as alterações dos valores das variáveis de entrada ou outros parâmetros físicos do método de produção do negro de fumo levarem a que o valor das variáveis de saída, tais como o índice de iodo e/ou do DBP saiam dum conveniente intervalo de valores, a alteração não será geralmente notada até que se torne a amostra seguinte. O resultado disso é que uma quantidade substancial do negro de fumo produzido pode não se enquadrar nas especificações exigidas pelo cliente. Ainda outro problema com os referidos métodos conhecidos de controlo da produção de negro de fumo consiste em que tais métodos baseiam-se na análise subjectiva feita pelo operador, a fim de ajustar um ou mais valores das variáveis de entrada, com base nos valores das variáveis de saída medidos em laboratório. Daí resulta que os ajustamentos dos valores das variáveis de entrada podem frequentemente variar entre os operadores e, por conseguinte, resultam numa qualidade inconsistente do negro de fumo produzido.

O objectivo da presente invenção é, portanto, solucionar os problemas e eliminar as desvantagens dos conhecidos métodos de produção de negro de fumo.

Sumário da invenção

A presente invenção refere-se a um método de controlo da produção de negro de fumo num reactor para negro de fumo e compreende as seguintes operações, que consistem em

(a) se medir, em intervalos regulares, pelo menos uma variável de saída utilizada na produção de negro de fumo, enquanto o reactor de negro de fumo está a funcionar;

(b) se empregar pelo menos um algoritmo para prever, a intervalos de previsão regulares, pelo menos uma variável de saída de negro de fumo, com base pelo menos na citada variável de entrada medida durante o intervalo de tempo referido;

(c) se determinar, em intervalos de tempo médios, um valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista durante o mencionado intervalo médio; e

(d) se ajustar, em intervalos de tempo regulares, pelo menos uma das variáveis de entrada utilizando a diferença entre o valor médio de pelo menos uma variável de saída de negro de fumo prevista e um valor pretendido da referida variável de saída enquanto o reactor está em funcionamento, para se obter o valor desejado da mencionada variável de saída, a fim de se alcançar uma qualidade substancialmente consistente do negro de fumo.

O método da presente invenção compreende ainda, preferivelmente, as seguintes operações:-

(a) se fazer a amostragem, em intervalos de tempo de amostragem regulares, do negro de fumo produzido, durante o funcionamento do reactor de negro de fumo;

(b) se medir pelo menos uma variável de saída a partir da amostra de negro de fumo, enquanto o reactor de negro de fumo está a funcionar; e

(c) se ajustar pelo menos um algoritmo mediante a utilização do valor medido de pelo menos uma variável de saída,

a fim de prever mais correctamente a referida variável de saída.

Numa forma de realização da presente invenção, pelo menos um variável de saída prevista é o índice de iodo, e a variável de entrada ajustada a intervalos de tempo regulares é o caudal do material de alimentação. Numa outra forma de realização da presente invenção, pelo menos um valor de variável de saída previsto é o DBP, e a variável de entrada ajustada é o caudal da solução de aditivo de potássio.

Numa outra forma de realização da presente invenção, pelo menos um algoritmo é ajustado pela utilização de uma média pesada da melhor avaliação da variância do erro dos valores previstos para a variável de saída do negro de fumo durante o período em que toma a amostra de negro de fumo, e a variância do erro do valor medido dessa variável de saída. Pelo menos um algoritmo é preferivelmente ajustado mediante também o emprego de pelo menos um segundo algoritmo, para determinar um valor óptimo calculado da variável de saída. O cálculo óptimo da variável de saída baseia-se na média pesada das variâncias de erro e na diferença entre o valor medido da variável de saída e o valor médio da variável de saída prevista durante o período em que se retira a amostra.

A presente invenção também se refere a um aparelho para controlar a produção de negro de fumo num reactor para negro de fumo. O aparelho compreende meios de medição para medir, em intervalos de tempo regulares, pelo menos uma variável de entrada utilizada na produção de negro de fumo, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento. Meios de computação são acoplados aos meios de medição para preverem, em intervalos de tempo regulares, pelo menos uma variável de entrada de negro de fumo consoante pelo menos um algoritmo que usa a citada variável de entrada medida durante o referido intervalo de tempo regular. Os meios de compu-

tação determinam ainda, em intervalos de tempo regulares, um valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista, por todo esse intervalo de tempo. O aparelho compreende ainda meios de ajustamento, acoplados aos citados meios de computação, para ajustarem, em intervalo regulares de tempo, pelo menos uma variável de entrada. O ajustamento baseia-se na diferença entre o valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista, durante o intervalo de tempo médio, e um valor pretendido para a mencionada variável de saída, a fim de se obter esse valor pretendido enquanto o reactor está em funcionamento, para se alcançar uma qualidade substancialmente consistente do negro de fumo.

Numa outra forma de realização da presente invenção, o aparelho compreende ainda meios de amostragem para a obtenção de amostras, em intervalos regulares de tempo, do negro de fumo produzido enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento, de forma que pelo menos a citada variável de saída pode ser medida no laboratório. Os meios de computação respondem ao citado valor medido de pelo menos uma variável de saída, para ajustarem pelo menos o referido valor medido de pelo menos uma variável de saída, a fim de prever mais correctamente a mencionada variável de saída.

Portanto, o método e o aparelho da presente invenção compensam as alterações nas variáveis de entrada e outros parâmetros físicos do método de produção de negro de fumo enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento, a fim de produzir negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente. Através da medição, a intervalos de tempo regulares, de pelo menos um valor de variável de entrada, previsão em intervalos regulares de tempo de pelo menos um valor de variável de saída com um algoritmo que utiliza pelo menos a citada variável de entrada, cálculo das médias, efectuado a intervalos de tempo regulares, das variáveis de

Wifama

saída previstas, e depois ajustamento, em intervalos de tempo regulares, da variável de entrada mediante a aplicação do valor médio previsto da variável de saída, o método e aparelho da presente invenção produz negro de fumo de qualidade substancialmente consistente. De modo semelhante, pela amostragem de negro de fumo, produzida em intervalos de tempo regulares, pela medição de pelo menos uma variável de saída a partir da amostra de negro de fumo, e pelo ajustamento de pelo menos um algoritmo mediante o uso do referido valor medido, com método e aparelho da presente invenção pode-se prever, com mais exactidão, o valor da variável de saída, e assim produzir negro de fumo de qualidade substancialmente consistente.

Outras características e vantagens da presente invenção tornar-se-ão evidentes perante a seguinte descrição pormenorizada e os desenhos, aos quais ela faz referência.

Breve descrição dos desenhos

A Figura 1 ilustra esquematicamente um exemplo dum reactor de negro de fumo de fornalha, no qual pode empregar o método de controlo do processo de produção de acordo com a presente invenção.

A Figura 2 ilustra esquematicamente os componentes da aparelhagem (hardware) do método de controlo do processo de produção consoante a presente invenção.

A Figura 3 é um fluxograma que ilustra conceptualmente os procedimentos no método de controlo do processo de acordo com a presente invenção, para controlar o índice de iodo e/ou o DBP.

A Figura 4 é um fluxograma que ilustra conceptualmente os procedimentos dos métodos de controlo distribuído da Figura 2, na previsão do índice de iodo e do DBP de acor

Wifama

do com a presente invenção.

A Figura 5 é um fluxograma que ilustra conceptualmente os procedimentos do método de controlo distribuído da Figura 2, para o ajustamento do caudal de material de alimentação e o caudal da solução aditiva de potássio, para se alcançar o índice de iodo pretendido e o DBP pretendido, respectivamente, de acordo com a presente invenção.

A Figura 6 ilustra esquematicamente um algoritmo PID empregado de acordo com a presente invenção, para ajustamento do novo caudal de material de alimentação e do novo caudal de solução aditiva de potássio, a fim de se obter o índice de iodo pretendido e o DBP pretendido, respectivamente.

A Figura 7 é um fluxograma que ilustra conceptualmente os procedimentos do controlador do método da Figura 2, para ajustamento do algoritmo do índice de iodo e do algoritmo do DBP, no fim de cada período de tomada duma amostra de negro de fumo de acordo com a presente invenção.

Descrição detalhada:-

O método de controlo do processo de negro de fumo da presente invenção compensa as variações nos parâmetros físicos num reactor de negro de fumo mediante o ajustamento duma ou várias variáveis de entrada do processo, a fim de controlar uma ou várias variáveis de saída do processo, e assim produzir negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente. As variáveis de saída de negro de fumo, que são controladas, são, por exemplo, o índice de iodo e/ou o DBP.

Na Figura 1, ilustra-se esquematicamente um exemplo dum reactor de negro de fumo com fornalha, em que se pode empregar o método de controlo do processo de acordo com a

presente invenção. O reactor de negro de fumo representado é um reactor de três andares, que compreendem uma zona de combustão, uma zona de injeção do material de alimentação e uma zona de reactor. Deve-se notar, contudo, que o método de controlo do processo de acordo com a presente invenção pode ser utilizado com qualquer outro tipo de reactor de negro de fumo ou processo de produção de negro de fumo em que um material de alimentação de hidrocarboneto é submetido a uma pirólise com gases quentes de combustão, a fim de preparar produtos de combustão contendo negro de fumo em partículas. Na zona de queima do reactor, na Figura 1, faz-se reagir um combustível líquido ou gasoso com qualquer tipo de oxidante apropriado, de preferência ar, a fim de formar os gases quentes de combustão. Os gases de combustão resultantes são descarregados da extremidade a jusante da zona de queima e são obrigados a passar, a uma alta velocidade, pela zona de injeção do material de alimentação. Um material de alimentação de hidrocarboneto, que está na forma gasosa, ou de vapor, ou dum líquido, o qual pode ser igual ou diferente do combustível usado para formar a corrente de gás de combustão, é injectado na corrente de gás de combustão dentro da zona de injeção do material de alimentação, após o que ocorre a pirólise ou decomposição térmica do material de alimentação de hidrocarboneto. A mistura reaccional de material de alimentação e gases de combustão é depois descarregada na zona do reactor, onde decorre o acabamento da formação das partículas de negro de fumo. Em seguida, a mistura reaccional é submetida a uma ténpera de arrefecimento rápido com um líquido apropriado, geralmente água, na extremidade da zona do reactor, para terminar a reacção de formação das partículas de negro de fumo. Depois, a mistura reaccional é arrefecida mais ainda e as partículas de negro de fumo sólidas são colectadas duma maneira já conhecida pelos especialistas nesta técnica.

As variáveis de entrada que são analisadas pelo método de controlo do processo de negro de fumo de acordo com a presente invenção estão também ilustradas esquematicamente na Figura 1. As variáveis de entrada são, cada uma delas, medidas antes da injeção para a zona de combustão ou zona de injeção do material de alimentação. As variáveis de entrada incluem o caudal do material de alimentação, o caudal de combustível, o caudal de ar, a temperatura de pré-aquecimento do ar, a humidade do ar, a qualidade do gás ou de outro combustível da primeira fase, a qualidade do material de alimentação e/ou o caudal da solução aditiva de potássio. Geralmente, apenas algumas das variáveis de entrada podem ser controladas com exactidão, a fim de controlar uma ou várias das variáveis de saída do negro de fumo, tais como o índice de iodo e/ou o DBP. Típicas variáveis de entrada controladas são o caudal de material de alimentação, o caudal de combustível, o caudal de ar e/ou o caudal de solução aditiva de potássio.

Numa forma de realização da presente invenção, no método de controlo do processo calcula-se um índice de iodo previsto ($I_{2No.p}$), em intervalos de tempo regulares, por exemplo, de 1 em 1 segundo até de 10 em 10 segundos. Os índices de iodo previstos são calculados por um algoritmo que se baseia, em parte, nos resultados dos ensaios empíricos para qualquer determinada geometria de reactor de negro de fumo, em que o método de controlo do processo é utilizado. Os índices de iodo previstos são depois transformados num valor médio ($I_{2No.AVG}$) por determinados intervalos regulares de tempo, por exemplo de 2 em 2 minutos. Com base nos índices de iodo médios previstos, uma variável de entrada calculada, tal como um caudal de material de alimentação, é automaticamente ajustada, para se obter o índice de iodo pretendido ($I_{2No.GOAL}$). Portanto, pode-se produzir negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente, a despeito das alte-

rações nas variáveis de entrada mensuráveis do reactor de negro de fumo, tais como alterações na humidade do ar e/ou alterações nas variáveis de entrada calculadas, tais como a qualidade do combustível.

De acordo com um exemplo da presente invenção, emprega-se o método de controlo do processo com um reactor de três zonas, conforme se encontra ilustrado esquematicamente na Figura 1. O reactor exemplificativo emprega um material de alimentação de óleo do tipo hidrocarboneto ou combustível de gás natural. Deve-se entender, no entanto, que o método de controlo do processo de acordo com a presente invenção pode ser aplicado igualmente com qualquer outro tipo de geometria do reactor, e qualquer outro tipo de material de alimentação e/ou combustível. Os índices de iodo previstos podem ser calculados ($I_2\text{No.}_p$) de acordo com o algoritmo de índice de iodo seguinte:

$$(1) I_2\text{No.}_p = KC*OAC + KP*FC + KA*AIR + KT*CAT + \\ + KH*AH + KO$$

Os valores constantes do algoritmo são empiricamente determinados para determinadas geometrias de reactor de negro de fumo. Por exemplo, as constantes de algoritmo para um reactor de três zonas, conforme está ilustrado na Figura 1, poderiam ter valores diferentes dos das constantes do algoritmo para um reactor de duas zonas (não ilustrado). As constantes do algoritmo são definidas do seguinte modo:-

KC - constante da combustão global;

KA - constante do caudal de ar;

KP - constante de combustão primária;

KT - constante da temperatura de pré-aquecimento do ar;

KH - constante da humidade do ar;

KO - constante da intercepção do sistema.

A seguir definem-se as variáveis de entrada de alimentação:-

OAC - combustão geral [%];

PC - combustão primária [%];

AIR - índice da combustão do ar [K S C F H];

CAT - temperatura de pré-aquecimento do ar de combustão °F;

AM - humidade absoluta do ar [libras/água/mil libras de ar seco].

As variáveis de entrada de alimentação são determinadas pela medição de certas variáveis de entrada do reactor de negro de fumo, com instrumentos de medição, enquanto o reactor está em funcionamento. Imediatamente após a medição das respectivas variáveis de entrada, as variáveis de entrada da alimentação são calculadas com base nas seguintes equações:-

$$(2) \text{ PC } = \frac{\text{AIR}}{\text{GAS} * \text{ATBG}} * 100$$

na qual

AIR é o caudal de ar [KSCFH] (padrão de pés cúbicos por hora, em milhares);

GAS é o caudal de gás [KSCFH]; e

ATBG é a proporção de ar para o gás de queima [SCF ar/SCF gás] a qual é um valor estequiométrico da quantidade de ar necessária para queimar totalmente o correspondente volume de gás.

Se o reactor de negro de fumo empregar um tipo de combustível diferente de gás, por exemplo, um combustível de hidrocarboneto líquido, então o caudal desse combustível se-

ria indicado na equação (2), em vez do caudal de gás (GAS), e nas outras equações descritas a seguir, onde surge também esse termo. Analogamente, o ATBG seria substituído, nas mesmas equações, pela proporção do valor estequiométrico da quantidade de ar necessária para queimar completamente a correspondente quantidade de combustível do tipo utilizado. De modo semelhante, se o reactor de negro de fumo utilizar qualquer agente oxidante apropriado, diferente do ar, então o caudal do referido agente oxidante seria indicado na equação (2), em vez do caudal de ar (AIR), e nas outras equações indicadas mais adiante, onde surge também o termo.

$$(3) \text{ OAC} = \frac{\text{AIR}}{\text{GAS} * \text{ATBG} + \text{OIL} * \text{ATBO}} * 100,$$

na qual

AIR é o caudal de ar [KSCFH];

GAS é o caudal de gás [KSCFH];

ATBG é a proporção de ar para gás de combustão [SCF ar/SCF gás];

OIL é o caudal de alimentação de hidrocarboneto líquido galões/hora ; e

ATBO é a proporção de ar para óleo de combustão [KSCF ar/galão de óleo], a qual é o valor estequiométrico da quantidade de ar necessária para queimar completamente o correspondente volume de óleo (um valor típico é de cerca de 1,54 KSCF/galão de óleo).

Se o reactor de negro de fumo empregar um material de alimentação diferente dum material do tipo de hidrocarboneto líquido, tal como um material de alimentação de hidrocarboneto gasoso, então o caudal desse material de alimentação seria indicado em lugar do caudal de material de alimentação de óleo (OIL), e nas outras equações descritas a se-

Wifama

guir, onde esse termo também ocorre. De maneira similar, o ATBO seria substituído, nas mesmas equações, pela proporção do valor estequiométrico da quantidade de ar necessária para queimar completamente a correspondente quantidade de outro tipo de material de alimentação empregado.

O caudal de ar (AIR) e o caudal de gás (GAS) são medidos sequencialmente, por meio de instrumentos de medição conhecidos, antes da injeção na zona de combustão do reator de negro de fumo. Os medidores de gás e de ar são, de preferência, medidores do tipo de orifício, que compensam as variações nas pressões de caudal e nas temperaturas na produção de sinais de caudal. O ATBG é calculado, preferivelmente, com base na composição do gás de entrada, medida por um cromatógrafo de gás (não ilustrado). Pode-se empregar o cromatógrafo de gás, quer para determinar a composição do gás, periodicamente, em sequência linear, ou periodicamente fora de sequência. Baseado na composição do gás actualizada, o valor ATBG é ajustado de forma correspondente. De forma semelhante, a medição da densidade específica do gás usado pelo medidor de gás é também ajustada de modo correspondente, com base na leitura da composição do gás efectuada pelo cromatógrafo de gás. Se o cromatógrafo de gás medir a composição de gás sequencialmente, ele tem geralmente a capacidade de actualizar o valor ATBG dentro do intervalo compreendido entre, pelo menos, cada 2 e cada 10 minutos, aproximadamente. Por outro lado, o ATBO não pode, usualmente, ser medido e actualizado em sequência linear. Portanto, o valor ATBO é, de preferência, medido em laboratório, para cada grau especial de material de alimentação ou misturas de materiais de alimentação. O valor de ATBO poderia ser actualizado, por exemplo, antes de um ciclo de produção ou mesmo uma vez em vários meses.

O caudal do material de alimentação (OIL) é medido,

Wifama

preferivelmente, por um medidor de fluxo do tipo Coriolis, que mede o caudal de massa de material de alimentação, geralmente em libras/hora, e a densidade do material de alimentação, antes da injeção na zona do reactor destinada à injeção do material de alimentação. O caudal de material de alimentação é, preferivelmente, transformado num caudal volumétrico corrigido, expresso em galões/hora (gal./hr). A temperatura do pré-aquecimento do ar de combustão (CAT) é medida por um acoplador térmico, imediatamente antes da entrada na zona de combustão do reactor. A humidade absoluta do ar (AH) é medida por um sensor de humidade dum tipo conhecido na técnica, e é expressa em unidades de libras de água/mil libras de ar seco. As medições da humidade absoluta do ar são, de preferência, utilizadas para duas finalidades primárias. Uma finalidade consiste em obter uma variável de entrada de alimentação actualizada (AH) para o algoritmo do índice de iodo. A outra finalidade é a de se ajustar o caudal de ar (AIR) dependendo da humidade absoluta do ar medida (AH), para manter um caudal de ar seco substancialmente constante, que entre na zona de combustão do reactor. Um algoritmo PID (algoritmo de controlo proporcional, integral, ou derivado), dum tipo já conhecido na técnica é utilizado, preferivelmente, para o ajustamento do caudal de ar, dependendo das leituras actualizadas da humidade absoluta do ar, a fim de compensar a quantidade de humidade no ar e assim manter um caudal de ar seco substancialmente constante.

Os valores constantes do algoritmo de índice de iodo (equação (1)) são determinados de acordo com um conhecido método de identificação do processo, mediante a aplicação de uma análise de regressão, e são estabelecidos para certos tipos de geometrias de reactor de negro de fumo. Portanto, os valores das constantes são, provavelmente, diferentes para geometrias de reactor substancialmente diferentes. Um sistema co

hecido de "software", o qual inclui os seguintes componentes:- "RS/1", "RS/explore" e "RS/discover", vendido pela BBN Software Products Corporation, de Cambridge, Massachusetts, é utilizado, de preferência, para a execução do procedimento de análise de regressão. O "software BBN" pode ser usado com um minicomputador VAX, fabricado pela empresa Digital Equipment Corporation, de Maynard, Massachusetts. O "software BBN" facilita a implementação de operações de desenho industrial experimental, que são conhecidas pelos especialistas nesta técnica, assim como operações de análise de regressão, também conhecidas pelos técnicos, e não é necessário, mas simplesmente proporciona um meio conveniente para a realização das mencionadas operações.

Quando se realiza a operação de análise de regressão, as variáveis de entrada e de saída no processo de produção de negro de fumo são identificadas. As variáveis de entrada em relação ao índice de iodo são, por exemplo, as ilustradas na Figura 1, incluindo o caudal de material de alimentação, o caudal de ar, o caudal de combustível, a temperatura de pré-aquecimento do ar e a humidade do ar, a qualidade do combustível (ATBG) e a qualidade do material de alimentação (ATBO). A variável de saída é o índice de iodo (I_2 No.). Com base nas variáveis de entrada e na variável de saída identificadas, concebe-se uma série de experiências para identificar os parâmetros dos algoritmos mediante o emprego preferencial do "software BBN" num minicomputador VAX. A série de ensaios é então efectuada num reactor de negro de fumo tendo o tipo de geometria de reactor, para a qual será utilizado o algoritmo. Portanto, a operação de análise de regressão proporcionará provavelmente valores constantes, que todavia têm valores diferentes para diferentes tipos de geometrias de reactor. Durante os ensaios, em fases diferentes, fazem-se alterações nas variáveis de entrada, duma maneira prescrita pelos



ensaios pretendidos. Baseado nas experiências, recolhe-se um conjunto de dados de entrada e correspondentes dados de saída. A operação de análise de regressão é então realizada no conjunto de dados, a fim de identificar as constantes, empiricamente estabelecidas, do algoritmo do índice de iodo (equação (1)).

De acordo com um exemplo da presente invenção, decorrente da operação de análise de regressão acima descrita, determinaram-se empiricamente as seguintes constantes para uma geometria de reactor de três zonas, semelhante ao reactor ilustrado esquematicamente na Figura 1:-

$KC = 12,5$	$KT = 0,094$
$KP = -0,123$	$KH = 0,238$
$KA = 0,184$	$KO = -201$ (aproximadamente).

Portanto, de acordo com uma forma de realização da presente invenção, as variáveis de entrada necessárias para determinar as variáveis de entrada de alimentação do algoritmo do índice de iodo (equação (1)) são medidas uma vez em cada segundo. Em seguida, com base nessas medições, o algoritmo de índice de iodo é resolvido uma vez em cada segundo, a fim de produzir um novo índice de iodo previsto ($I_2No._p$). Depois, em intervalos de tempo regulares, por exemplo de 2 em 2 minutos, os índices de iodo previstos calculados durante o referido intervalo de tempo são convertidos num valor médio ($I_2No._AVG$). Uma variável de entrada, tal como o caudal de material de alimentação (OIL), é depois automaticamente ajustada no fim de cada intervalo médio de tempo, dependendo da diferença entre o índice de iodo médio previsto ($I_2No._AVG$) e o índice de iodo estabelecido ou índice de iodo desejado ($I_2No._GOAL$), a fim de alcançar o índice de iodo pretendido. Deve-se notar no entanto, que uma ou várias outras variáveis de entrada, tais como a variável de entrada AIR e/ou GAS, podem ser ajustadas, em vez do caudal de material de alimentação (OIL), a

fim de alcançar o índice de iodo pretendido ($I_2\text{No. GOAL}$).

A relação entre o índice de iodo e o OAC é a relação de ajustamento primário. O OAC é uma variável de controlo calculada, oposta a uma variável de controlo medida. Conforme será descrito mais adiante, a equação que define a OAC inclui, como seus termos, as variáveis AIR, GAS e OIL. Por consequência, com base na relação entre o índice de iodo e a OAC, as alterações apropriadas na variável de controlo medida preferida OIL podem ser derivadas para se obter o índice de iodo pretendido ($I_2\text{No. GOAL}$). O caudal de material de alimentação (OIL) é a variável de entrada preferida para o controlo, porque, por uma razão, ela parece apenas num termo do algoritmo do índice de iodo e, portanto, a operação de ajustamento pode ser relativamente simples e directa.

O novo caudal de material de alimentação (OIL novo), que é necessário para se conseguir o índice de iodo pretendido ($I_2\text{No. GOAL}$), é avaliado com base na seguinte relação entre o índice de iodo e a OAC:-

$$(4) \Delta I_2\text{No.} = KC * \Delta OAC$$

na qual

$\Delta I_2\text{No}$ é o índice de iodo $I_2\text{No. GOAL}$ menos a média em dois minutos (ou outro intervalo de tempo regular) do índice de iodo $I_2\text{No.}_p$ ($I_2\text{No. AVG}$);

ΔOAC é a nova variável OAC (OAC_{nova}) exigida para se obter o índice $I_2\text{No. GOAL}$ menos a média em 2 minutos da variável medida OAC (OAC_{AVG}); e

KC é a constante de combustão geral, do algoritmo de índice de iodo.

A equação (4) é adaptada a partir da derivada parcial do algoritmo do índice de iodo (equação (1)) em relação à variável OAC. O novo caudal de material de alimentação (OIL

novo) é então determinado com base nas seguintes equações:-

$$(5) \text{OAC}_{\text{novo}} = \frac{\Delta I_2 \text{No.}}{KC} + \text{OAC}_{\text{AVG}}$$

$$(6) \text{OAC}_{\text{novo}} = \frac{100 * \frac{\text{AIR}_{\text{AVG}}}{\text{GAS}_{\text{AVG}} * \text{ATBG} + \text{OIL}_{\text{novo}} * \text{ATBO}}}{\text{GAS}_{\text{AVG}} * \text{ATBG} + \text{OIL}_{\text{novo}} * \text{ATBO}} * 100$$

As equações (5) e (6) são então resolvidas para variável OIL_{NEW} como se segue:-

$$(7) \text{OIL}_{\text{NEW}} = \frac{\left[100 * \frac{\text{AIR}_{\text{AVG}}}{\text{GAS}_{\text{AVG}} * \text{ATBG} + \text{OIL}_{\text{NEW}} * \text{ATBO}} \right]}{\left[\text{ATBO} * \left(\frac{\Delta I_2 \text{No.}}{KC} + \text{OAC}_{\text{AVG}} \right) \right]} -$$

Consequentemente, a variável OIL_{NEW} pode então ser calculada de 2 em 2 minutos (ou noutro intervalo de tempo regular) utilizando-se a média dos índices de iodo previstos ($I_2 \text{No.}_{\text{AVG}}$), calculada durante esse intervalo de tempo médio, e o caudal de material de alimentação (OIL) pode então ser automaticamente ajustado a fim de se obter o índice de iodo $I_2 \text{No.}_{\text{GOAL}}$.

O método de controlo do processo de produção de negro de fumo de acordo com a presente invenção possui uma característica adicional, uma operação de medição em laboratório, fora de sequência. Em intervalos de tempo regulares, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento, retiram-se amostras do negro de fumo produzido e mede-se o índice de iodo de cada amostra ($I_2 \text{No.}_{\text{LAB}}$) por meio de técnicas já conhecidas. Determinam-se o índice de iodo medido ($I_2 \text{No.}_{\text{LAB}}$) e o desvio-padrão conhecido (SD_{LAB}), em conjunto com a média e o desvio-padrão (SD_p) dos índices de iodo previstos ($I_2 \text{No.}_p$) para o período de tempo em que se retirou a amostra do índice de iodo medido ($I_2 \text{No.}_{\text{LAB}}$), o desvio-padrão do ensaio (SD_{LAB}) e o desvio-médio e desvio-padrão (SD_p) dos índi

Wifama

ces de iodo previstos ($I_2\text{No.}_p$), a constante de intercepção do método (KO) do algoritmo do índice de iodo (equação (1)) é ajustada, a fim de se calcular um índice de iodo previsto mais exactamente ($I_2\text{No.}_p$), conforme será descrito mais adiante, com pormenores. Assim, de acordo com a presente invenção, a própria exactidão do algoritmo (equação (1)) do controlo do índice de iodo pode ser sistematicamente verificada em relação ao índice de iodo medido em relação ao índice de iodo medido no laboratório ($I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$) e aperfeiçoada, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento. A característica de amostragem fora da linha da presente invenção compensa, portanto, as perturbações não medidas do reactor de negro de fumo, que não são usualmente avaliadas ou não podem ser avaliadas, ao contrário das variáveis de entrada mensuráveis, conforme já foi acima descrito.

De acordo com a presente invenção, um algoritmo de filtro, de preferência um algoritmo de filtro de Kalman é aplicado para mudar a intercepção do método (KO) do algoritmo do índice de iodo. A intercepção do método (KO) é mudada com base no índice de iodo medido ($I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$) e os índices de iodo previstos ($I_2\text{No.}_p$) determinados durante o intervalo em que se retira uma amostra do negro de fumo, a fim de levarem o algoritmo do índice de iodo a predizerem mais correctamente os índices de iodo. O índice de iodo da amostra do negro de fumo ($I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$) é medido duma maneira já conhecida dos especialistas nesta técnica, por exemplo por um método volumétrico de titulação da amostra de negro de fumo com uma solução de iodo. O ensaio sobre o índice de iodo é, preferivelmente, realizado de acordo com o teste sobre o índice de absorção do iodo indicado pela designação ASTM : D1510-85. O intervalo de tempo de amostragem quando a amostra de negro de fumo é retirada, fica geralmente entre cerca de 2 a 20 minutos.

De acordo com a característica de amostragem da pre

sente invenção determinam-se a melhor estimativa da variância de erro dos correntes índices de iodo previstos (V_{IP}) e a variância de erro do índice de iodo medido no laboratório, (V_{IL}). A variância de erro é o quadrado do desvio-padrão do índice de iodo. Portanto, V_{IL} é o quadrado do desvio-padrão (SD_{LAB}) do índice de iodo medido no laboratório em relação à amostra do negro de fumo ($I_2 \text{ No. }_{LAB}$). Devido ao facto de que, geralmente, torna-se apenas um índice de iodo medido em laboratório ($I_2 \text{ No. }_{LAB}$) durante cada período de tempo de amostragem, V_{IL} é essencialmente uma constante que é determinada por meio dum estudo separado em laboratório sobre a precisão ou a capacidade de reprodução do índice de iodo medido, estudo esse que já pertence ao estado da técnica. V_{IL} é, portanto, geralmente actualizado periodicamente, por exemplo uma vez em alguns meses, ou quando existe uma mudança no método de determinação do índice de iodo medido no laboratório ($I_2 \text{ No. }_{LAB}$). V_{IP} é a melhor avaliação da variância de erro do índice de iodo previsto correntemente ($I_2 \text{ No. }_p$), conforme será descrito pormenorizadamente mais adiante. V_{IP} e V_{IL} são assim, cada um deles, indicações das incertezas nas próprias determinações do respectivo índice de iodo.

Com base nas variâncias de erro, V_{IP} e V_{IL} , um ganho de filtro Kalman de índice de iodo (K_I), o qual, conforme será ainda descrito a seguir, é depois usado para actualizar a intercepção do método (KO) do algoritmo de índice de iodo, é determinado da seguinte forma:-

$$(8) K_I = \frac{V_{IP}}{V_{IP} + V_{IL}}$$

O ganho do filtro Kalman (K_I) é, portanto, essencialmente, uma média pesada das variâncias de erro (V_{IP} e V_{IL}), cada uma das quais reflecte o grau de variação em duas medições usualmente ruidosas ($I_2 \text{ No. }_p$ e $I_2 \text{ No. }_{LAB}$). A $I_2 \text{ No. }_p$ e a

Wifama

$I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$ são geralmente diferentes. Portanto, o ganho do filtro Kalman (K_I) é, de facto, um coeficiente de pesagem baseado numa informação estatística a respeito da confiabilidade das duas medições diferentes, $I_2\text{No.}_p$ e $I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$, o qual indica qual é a medição mais exacta. Por exemplo, se $K_I = 1$, então existe uma variância de erro desprezível no índice $I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$, e se $K_I = 0$, então existe uma variância de erro desprezível no índice $I_2\text{No.}_p$.

Com base no ganho do filtro Kalman (K_I), emprega-se um algoritmo de filtro Kalman para determinar um novo índice de iodo calculado óptimo ($I_2\text{No.}_{\text{FILTRO}}$), da seguinte maneira:-

$$(9) \quad I_2\text{No.}_{\text{FILTRO}} = I_2\text{No.}_{\text{LVG}} + K_I * (I_2\text{No.}_{\text{LAB}} - I_2\text{No.}_{\text{AVG}})$$

na qual $I_2\text{No.}_{\text{AVG}}$ é a média dos índices de iodo previstos ($I_2\text{No.}_p$) durante o período de tempo em que se tomou a amostra.

Depois, com base no novo índice de iodo calculado óptimo ($I_2\text{No.}_{\text{FILTRO}}$), calcula-se uma nova constante de intercepção do método (KO_{NOVA}) para o algoritmo do índice de iodo, da seguinte forma:-

$$(10) \quad KO_{\text{NOVA}} = KO_{\text{VELHA}} + I_2\text{No.}_{\text{FILTRO}} - I_2\text{No.}_{\text{AVG}}$$

Deve-se notar que uma alteração de um ponto, por exemplo, na constante de intercepção do sistema (KO) corresponde a uma alteração dum ponto no índice de iodo e, portanto, os índices podem ser directamente substituídos na equação (10) para resolver a KO_{NOVA} . Consequentemente, a constante de intercepção do sistema (KO) é ajustada, cada vez que o índice de iodo medido no laboratório ($I_2\text{No.}_{\text{LAB}}$) fica disponível.

Wifama

vel, a fim de tornar mais correcto o algoritmo do índice de iodo (equação (1)).

Voltando às variâncias de erro, o melhor cálculo da verdadeira variância de erro corrente do índice de iodo previsto ($V_{IP}(K+1)$) no intervalo de tempo ($K+1$) e que, conforme será descrito mais adiante, se empregar para determinar o ganho do filtro Kalman (K_I) é determinado da seguinte forma:-

$$(11) V_{IP}(K+1) = V_{IE}(K) + V_{IL}(K+1)$$

na qual

$V_{IP}(K+1)$ é o melhor cálculo da verdadeira variância de erro corrente do índice de iodo previsto corrente ($I_{2No.p}$) no intervalo de tempo ($K+1$);

$V_{IE}(K)$ é a variância de erro do anterior cálculo de índice de iodo óptimo ($I_{2No.FILTRO}$) no intervalo de tempo (K);

$V_{IL}(K+1)$ é a variância de erro dos índices de iodo previstos ($I_{2No.p}$) no intervalo de tempo ($K+1$), medida durante o último período de tempo de amostragem.

O novo ganho de filtro Kalman ($K_I(K+1)$) é então determinado a partir das variâncias de erro dos índices de iodo previstos correntes ($I_{2No.p}$) e do índice de iodo corrente medido no laboratório ($I_{2No.LAB}$), da seguinte maneira:-

$$(12) K_I(K+1) = \frac{V_{IP}(K+1)}{[V_{IP}(K+1) + V_{IL}(K+1)]}$$

$V_{IL}(K+1)$ é a variância de erro do índice de iodo corrente medido no laboratório ($I_{2No.LAB}$) e define-se do seguinte modo:-

$$(13) V_{IL}(K+1) = [PSD_{LAB}/100]^2 * I_{2No.GOAL}$$

PSD_{LAB} é a percentagem do desvio-padrão do ensaio

de índice de iodo conforme é determinado por um estudo de precisão ou de capacidade de reprodução, já conhecido da técnica. Portanto, o novo ganho óptimo do filtro Kalman ($K_I(K+1)$) é substituído na equação (9) acima, para resolver o novo índice de iodo previsto óptimo ($I_{2No.FILTRO}$). O índice $I_{2No.FILTRO}$ é então substituído na equação (10) acima indicada, para resolver a nova constante de intercepção do sistema (KO_{NOVA}), a fim de levar o algoritmo do índice de iodo a predizer mais correctamente o índice de iodo.

A variância de erro do novo índice de iodo calculado do óptimo ($V_{IL}(K+1)$), a ser usado na determinação da $V_{IP}(K+1)$ no fim do período de tempo da amostragem seguinte ($V_{IL}(K)$ na equação (11) acima indicada) é então calculada da seguinte maneira:-

$$(14) \quad V_{IL}(K+1) = \frac{V_{IP}(K+1) * V_{IL}(K+1)}{[V_{IP}(K+1) + V_{IL}(K+1)]}$$

De acordo com uma outra forma de realização da presente invenção, o método de controlo do processo é empregado para controlar a estrutura do negro de fumo. A estrutura do negro de fumo é geralmente avaliada em laboratório por meio dum índice de absorção de dibutil-ftalato ("DBP") indicado pela designação ASTM:- D2414-86. O valor do DBP é, portanto, uma indicação sobre a estrutura do negro de fumo. Todavia, existem outras medidas adequadas da estrutura do negro de fumo, que podem igualmente ser controladas pelo método de controlo do processo de acordo com a presente invenção. Uma forma de controlar o DBP é através da injeção duma solução aditiva de potássio (K^+S), já conhecida na técnica, preferivelmente no material de alimentação antes de introduzir o referido material de alimentação na zona de injeção de material do reactor. A solução aditiva de potássio (K^+S) é depois dispersa na mistura reaccional na zona do reactor, e assim tem o efei-

Wifama

to duma carga iónica sobre as partículas do negro de fumo já formado. Portanto, geralmente, se se injectar uma solução aditiva de potássio (K^+S) com uma concentração mais elevada, no material de alimentação, então haverá a tendência para menos agregação entre as partículas do negro de fumo formado.

De acordo com a presente invenção, os valores de DBP previstos (DBP_p) são calculados em intervalos de tempo regulares, por exemplo em cada 1 a 10 segundos. Os valores de DBP previstos (DBP_p) são calculados por meio dum algoritmo de DBP que se baseia, em parte, nos resultados de ensaios empíricos para qualquer determinada geometria do reactor de negro de fumo, em que se empregar o método de controlo do processo. Calcula-se depois a média dos valores do DBP previstos, durante intervalos de tempo regulares, por exemplo de 2 em 2 minutos (DBP_{AVG}). Com base na média dos valores do DBP previstos (DBP_{AVG}), uma variável de entrada controlada, tal como o caudal da solução aditivo de potássio (K^+S) é automaticamente ajustada para se obter o valor de DBP desejado (DBP_{GOAL}).

Os valores do DBP previstos (DBP_p) podem ser calculados de acordo com o seguinte algoritmo do DBP:

$$(15) \quad DBP_p = (164,9 - 17,3 * X)^*F \text{ para } 0 \leq X \leq 1$$

e

$$(16) \quad DBP_p = (147,6 - 17,3 * \ln(X))^*F \text{ para } X > 1$$

nas quais

X é a concentração dos iões de potássio (K^+) no material de alimentação (g K^+ /100 galões de óleo); e

F é um factor de escala, calculado para ajustar o algoritmo para as perturbações não medidas no reactor do negro de fumo, ou para as diferenças entre os reactores (F está, geral-

Winfama

mente, compreendido no intervalo entre cerca de 0,7 e cerca de 1,2).

As constantes no algoritmo do DBP são empiricamente determinadas de acordo com uma conhecida operação de identificação do processo, que emprega a análise de regressão para qualquer geometria de reactor de negro de fumo, da mesma maneira já descrita acima a propósito da determinação das constantes de algoritmo para o algoritmo do índice de iodo. Portanto, os valores das constantes serão provavelmente diferentes para os diversos tipos de geometria do reactor. As variáveis de entrada medidas em relação ao DBP são, de preferência, o caudal da solução aditiva de potássio e o caudal do material de alimentação. A variável de saída é o DBP ou qualquer outra medida apropriada da estrutura do negro de fumo. Conforme se descreveu acima a respeito do algoritmo do índice de iodo, uma série de experiências é então realizada num reactor de negro de fumo que tem o tipo de geometria de reactor para a qual se utilizará o algoritmo. Com base nos ensaios, reúne-se um conjunto de dados de entrada e correspondentes dados de saída. Em seguida efectua-se a operação de análise de regressão, sobre o conjunto de dados, para identificar as constantes do algoritmo do DBP. As constantes do algoritmo do DBP, conforme são definidas nas equações (15) e (16), foram determinadas empiricamente consoante o método de análise de regressão acima descrito, para uma geometria de reactor de três zonas, semelhante à que se encontra ilustrada esquematicamente na Figura 1.

Emprega-se o algoritmo do DBP, ou seja as equações (15) e (16), para prever os valores do DBP (DBP_p) em intervalos de tempo regulares, por exemplo uma vez em cada segundo. Depois, calcula-se a média dos valores de DBP previstos durante intervalos de tempo médios regulares (DBP_{AVG}), por exemplo uma vez de 2 em 2 minutos. Cada valor médio do DBP (DBP_{AVG}) é

então utilizado para se calcular um novo caudal da solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}) empregando um algoritmo de ajustamento do DBP, definido da seguinte forma:-

$$(17) K^+S_{NOVO} [lb/hr] = PROPORÇÃO [lb K^+S/gal. óleo] * OIL_{NOVO} [gal/hr]$$

na qual

$$(18) PROPORÇÃO = \frac{X_{NOVO} [gm K^+/100 gal. óleo]}{100 * K_{MIX} [gm K^+/lb K^+S]}$$

O X_{NOVO} é derivado da derivativa parcial do algoritmo do DBP (equação (15) e (16)) relativamente à concentração dos iões de potássio no material de alimentação (X) e é definido como se segue:-

$$(19) X_{NOVO} = \frac{(DBP_{GOAL} - DBP_{AVG})}{17,3 * F} + X_{AVG}$$

para $0 \leq X_{AVG} \leq 1$

$$(20) X_{NOVO} = \frac{(DBP_{GOAL} - DBP_{AVG})}{17,3 * F} * X_{AVG} + X_{AVG}$$

para $X_{AVG} > 1$

e

$$(21) X_{AVG} = \frac{K^+S_{AVG}}{OIL_{AVG}} * 100$$

K_{MIX} é a intensidade de mistura da solução aditiva de potássio K^+S , a qual é expressa em gramas de iões de potássio (K^+) por cada libra de solução aditiva de potássio (K^+S). X_{NOVO} é a nova concentração dos iões de potássio (K^+) no material de alimentação, necessária para se obter o DBP pretendido

Wifama

(DBP_{GOAL}). K^+S_{AVG} é a média do caudal de solução aditiva de potássio durante o intervalo de dois minutos, e OIL_{AVG} é o caudal médio de material de alimentação durante um intervalo de dois minutos. OIL_{NOVO} é o ponto estabelecido para o caudal corrente de material de alimentação, o qual é preferivelmente ajustado de acordo com o algoritmo do índice de iodo, conforme já se descreveu mais acima. Consequentemente, com a utilização dos valores médios previstos para o DBP (DBP_{AVG}) durante um intervalo de dois minutos, pode-se determinar o novo caudal da solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}) de acordo com a equação (17), a fim de se alcançar o pretendido valor de DBP (DBP_{GOAL}).

O método de controlo do processo de acordo com a presente invenção tem uma característica adicional:- uma operação de medição do DBP fora da linha, em laboratório. Em intervalos de tempo regulares, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento, retiram-se amostras do negro de fumo produzido e mede-se o valor do DBP de cada amostra (DBP_{LAB}) duma forma já conhecida no estado da técnica, pelos especialistas. O intervalo de amostragem, durante o qual se retira a amostra de negro de fumo, fica compreendido geralmente entre 2 e 20 minutos, aproximadamente. Preferivelmente, o DBP_{LAB} é calculado de acordo com a designação ASTM : D2414-86, acima mencionada.

O valor do DBP medido (DBP_{LAB}) e o seu desvio-padrão conhecido (SD_{LAB}) são determinados em conjunto com o desvio médio e o desvio-padrão (SD_p) dos valores de DBP previstos (DBP_p) para o período de tempo em que se retirou a amostra. Depois, dependendo do valor do DBP medido (DBP_{LAB}), do seu desvio padrão (SD_{LAB}) e dos desvio-médio e desvio-padrão dos valores do DBP previstos (DBP_p), o factor de escala (F) do algoritmo do DBP (equação (15) e (16)) é ajustado, a fim de se calcularem os valores do DBP mais correctos. Assim, de acor

do com a presente invenção, a exactidão do próprio algoritmo pode ser sistematicamente verificada em relação ao valor do DBP medido (DBP_{LAB}), e aperfeiçoada, enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento.

De acordo com a característica de amostragem da presente invenção, a melhor avaliação da variância de erro dos valores de DBP previstos (V_{DP}) e da variância de erro do valor de DBP medido em laboratório (V_{DL}) são determinados. V_{DL} é o quadrado do desvio-padrão do valor de DBP medido no laboratório (DBP_{LAB}). Devido ao facto de, preferivelmente, apenas um valor de DBP medido em laboratório é tomado durante cada período de amostragem, V_{DL} é essencialmente uma constante que é determinada por meio dum estado separado sobre a exactidão ou a possibilidade de reprodução do método de medição do DBP LAB , dum tipo conhecido na técnica. Portanto, V_{DL} é geralmente actualizado periodicamente, por exemplo uma vez em vários meses ou sempre que houver uma alteração no método de determinar o DBP LAB . V_{DP} é o melhor cálculo da variância de erro do valor do DBP corrente previsto (DBP_p), conforme será descrito com mais pormenores em seguida.

Com base nas variâncias de erro, V_{DP} e V_{DL} , um algoritmo de filtro, de preferência um algoritmo de filtro de Kalman, é utilizado para se determinar o melhor cálculo do verdadeiro valor do DBP durante o período em que se retirou a amostra (DBP_{FILTRO}). O DBP_{FILTRO} é produzido como uma média pesada entre o DBP_{LAB} e a média dos valores de DBP previstos durante o período de tempo em que se tomou a amostra (DBP_{AVG}). O algoritmo do filtro de Kalman do DBP para o valor de DBP_{FILTRO} é definido da seguinte maneira:-

$$(22) \quad DBP_{FILTRO} = DBP_{AVG} + K_D * (DBP_{LAB} - DBP_{AVG})$$

K_D é o ganho do filtro de Kalman para o DBP, o qual é essen-

cialmente uma média pesada das variâncias de erro, V_{DF} e V_{DL} , e é definido do modo seguinte:-

$$(23) \quad K_D = \frac{V_{DF}}{V_{DF} + V_{DL}}$$

Depois, com base no valor de DBP_{FILTRO} , o factor de escala (F) do algoritmo do DBP, ou seja as equações (15) e (16), é ajustado (F_{NOVO}), a fim de levar o algoritmo do DBP a predizer mais correctamente o valor do DBP, conforme se segue:-

$$(24) \quad F_{NOVO} = \frac{DBP_{FILTRO}}{164,9 - 17,3 * (X_{AVG})} \quad \text{para } 0 \leq X \leq 1$$

$$(25) \quad F_{NOVO} = \frac{DBP_{FILTRO}}{147,6 - 17,3 * \ln(X_{AVG})} \quad \text{para } X > 1$$

X_{AVG} é a concentração média da solução aditiva de potássio (K^+S) no material de alimentação conforme está definida na equação (21), durante o período de tempo em que se tomou a amostra. O novo factor de escala (F_{NOVO}) é então substituído no algoritmo do DBP (equações (15) e (16)), para substituir o factor de escala (F) anterior e assim ajustar o algoritmo, a fim de predizer o DBP com mais exactidão.

A melhor avaliação da verdadeira variância de erro corrente de DBP_{valor} previsto ($V_{DF}(K+1)$) no intervalo de tempo ($K+1$), que é usado na equação (23) para determinar o ganho do filtro de Kalman (K_D) do DBP corrente, é definida da seguinte maneira

$$(26) \quad V_{DF}(K+1) = V_{DE}(K) + V_{DM}(K+1)$$

na qual

$V_{DP}(K+1)$ é a melhor avaliação da verdadeira variância de erro corrente do valor de DBP previsto corrente, no intervalo de tempo $(K+1)$;

V_{DE} é a variância de erro da avaliação do DBP óptima anterior (DBP_{FILTRO}) no intervalo de tempo (K) ; e

$V_{DL}(K+1)$ é a variância de erro dos valores de DBP previstos (DBP_P) no intervalo de tempo $(K+1)$, medida durante o período de tomada da última amostra.

O novo ganho de filtro de Kalman do DBP ($K_D(K+1)$) é depois determinado como uma média pesada de variâncias de erro dos valores do DBP previstos correntes (DBP_P) e do valor corrente do DBP medido em laboratório (DBP_{LAB}), do seguinte modo:-

$$(27) K_D(K+1) = \frac{V_{DP}(K+1)}{[V_{DP}(K+1) + V_{DL}(K+1)]}$$

$V_{DL}(K+1)$ é a variância de erro do valor do DBP corrente, medido em laboratório (DBP_{LAB}) e define-se da seguinte maneira:-

$$(28) V_{DL}(K+1) = [PSD_{LAB}/100]^2 \approx DBP_{GOAL}$$

Neste caso, PSD_{LAB} é o desvio padrão presente, do DBP em laboratório, o qual é determinado por meio dum estudo sobre precisão e possibilidade de reprodução, já conhecido na técnica. Portanto, o novo ganho de filtro de Kalman no DBP ($K_D(K+1)$) é substituído na equação (22) acima indicado, para resolver o novo valor óptimo calculado do DBP (DBP_{FILTRO}). O DBP_{FILTRO} é, em seguida, substituído nas equações (24) ou (25) acima indicadas, para resolver o novo factor de escala (F_{NOVO}) a fim de levar o algoritmo do DBP (equação (15) e (16)) a prever mais correctamente o valor do DBP.

A variância de erro do novo valor óptimo calculado

para o DBP ($V_{DE}(K+1)$), a ser utilizado na determinação de $V_{DP}(K+1)$ no fim do período de amostragem seguinte ($V_{DE}(K)$ na equação (26) acima indicada) é então calculada do seguinte modo:-

$$(29) \quad V_{DE}(K+1) = \frac{V_{DP}(K+1) * V_{DL}(K+1)}{V_{DP}(K+1) + V_{DL}(K+1)}$$

De acordo com uma outra forma de realização da presente invenção, o método de controlo do processo compreende ainda um método "CUSUM" ("Sommas cumulativas") para controlar os valores das variáveis de saída controladas, tais como o índice de iodo e/ou o DBP. O método "CUSUM" compensa as tendências, quer no índice de iodo, quer no DBP, que possam ser o resultado de perturbações não avaliadas no reactor de negro de fumo não completamente compensado pelo algoritmo do índice de iodo, pelo algoritmo do DBP ou pelos algoritmos de filtro de Kalman respectivos. Portanto, um método CUSUM orienta o índice de iodo $I_{2No. LAB}$ e um método CUSUM orienta o valor de DBP $_{LAB}$, cada vez que se mede uma variável de saída a fim de determinar se existe um desvio na média de cada um dos dois valores, que seja suficiente para exigir mais um ajustamento no processo.

Cada operação CUSUM utiliza duas somas cumulativas, uma soma elevada ($S_H(i)$) e uma soma baixa ($S_L(i)$), para verificar o índice de iodo $I_{2No. LAB}$ e o valor do DBP $_{LAB}$, respectivamente, a fim de determinar se existe uma tendência indesejável. Quando as "sommas cumulativas" são reajustadas, cada soma cumulativa ($S_H(i)$ e $S_L(i)$) é ajustada para zero. As duas somas são calculadas da seguinte forma:-

$$(30) \quad S_H(i) = \max [0, S_H(i-1) + Y_i - (GOAL + K)]$$

$$(31) \quad S_L(i) = \min [0, S_L(i-1) + Y_i - (GOAL - K)]$$

nas quais

$S_H(i-1)$ é a soma de todas as somas elevadas anteriores desde a última regulação da CUSUM;

$S_L(i-1)$ é a soma de todas as anteriores somas baixas desde o último ajustamento de CUSUM;

Y_i é o valor corrente medido no laboratório da variável de saída controlada e, portanto, de acordo com as anteriores formas de realização, ele pode ser $I_2\text{No.}_{LAB}$ ou DBP_{LAB} ;

GOAL é o valor pretendido da variável de saída controlada e, portanto, de acordo com as formas de realização anteriores, ele pode ser $I_2\text{No.}_{GOAL}$ ou DBP_{GOAL} ; e

K é o abrandamento permissível na variável de saída controlada, que está geralmente compreendido no intervalo de cerca de um desvio, ou dentro do qual se enquadram cerca de 68% dos valores, medidos em laboratório, da respectiva variável de saída controlada (como, por exemplo, $I_2\text{No.}_{LAB}$ ou DBP_{LAB}).

Um intervalo de decisão $(-h, h)$ é estabelecido para cada variável de saída controlada, cujo valor exacto é escolhido com base na experiência com o especial reactor de negro de fumo utilizado, mas que, geralmente, fica próximo dos valores de tolerância estabelecidos para a citada variável de saída. Por exemplo, um valor típico de h para o índice de iodo ou para o DBP poderia ser 5. Portanto, o intervalo de decisão h seria 5 unidades de índice de iodo ou unidades de DBP em cada lado do valor de $I_2\text{No.}_{GOAL}$ ou DBP_{GOAL} , respectivamente.

Depois de se tomar cada amostra de negro de fumo e se determinarem os valores, medidos em laboratório, do índice de iodo ($I_2\text{No.}_{LAB}$) e/ou do DBP (DBP_{LAB}), cada um desses valores é substituído nas equações (30) e (31), em vez de (Y_i). As duas somas cumulativas, $S_H(i)$ e $S_L(i)$, são depois computadas para ambos os valores, de iodo $I_2\text{No.}_{LAB}$ e de DBP_{LAB} .

Em seguida, se $S_H(i) - h$ ou se $S_L(i) - -h$, tanto para o índice de iodo, como para o DBP, produz-se um sinal de alarme para a respectiva variável de saída. Se se produzir um sinal de alarme, o operador é informado, para aumentar a frequência de amostragem do negro de fumo produzido, geralmente pelo menos com um factor de dois. Se se produzir um sinal de alarme a respeito do índice de iodo e/ou do DBP, respectivamente, então o ganho de Kalman (K_I) para algoritmo do índice de iodo, e/ou o ganho do filtro de Kalman do DBP (K_D) para o algoritmo do DBP, são, cada um, ajustados para um, respectivamente. Se depois de se tomar a amostra seguinte de negro de fumo, o índice $I_{2No. LAB}$ ou o valor de DBP_{LAB} se enquadrar em $\pm K$ do índice $I_{2No. GOAL}$ ou do valor DBP_{GOAL} , respectivamente, então a soma cumulativa é reajustada mediante o ajustamento das somas cumulativas $S_H(i-1)$ e $S_L(i-1)$ para zero, para a respectiva variável. No entanto, se um sinal de alarme continuar a ser produzido, então o ganho de filtro de Kalman (K_I ou K_D) para a respectiva variável de saída é ajustado para igual a um, até que o valor medido no laboratório se enquadra dentro de $\pm K$ do valor pretendido para a referida variável.

Na Figura 2, os componentes do "hardware" do método de controlo do processo de acordo com a presente invenção estão ilustrados de uma forma esquemática. O método de controlo do processo compreende um dispositivo controlador indicado genericamente pelo numeral de referência 10. O controlador do método 10 é dum tipo conhecido pelos técnicos e é, preferivelmente um minicomputador, por exemplo um minicomputador VAX, conforme foi acima descrito. O controlador do método 10 é ligado através duma linha principal 12 a um sistema de controlo distribuído 14. O sistema de controlo distribuído 14 também é dum tipo já conhecido pelos especialistas neste sector técnico, tal como um Sistema de Instrumentação ProVox Fisher, fabricado pela firma Fisher Controls International,

Wifama

Inc., de Marshalltown, Estado de Iowa, E.U.A.. O sistema de controlo distribuído 14 é, por sua vez, ligado através de um algoritmo PID (PID) a um medidor do caudal de óleo 16, e a uma válvula de passagem 18 automaticamente regulável. Conforme já se descreveu mais acima, o medidor do caudal de óleo 16 é, preferivelmente, um medidor do caudal do tipo Coriolis. A válvula do caudal de óleo 18 é montada a montante ou a jusante do medidor do caudal de óleo 16, numa linha de material de alimentação 20 do reactor de negro de fumo. Por conseguinte, o sistema de controlo distribuído 14 controla o funcionamento da válvula 18, a fim de justar automaticamente o caudal de material de alimentação (CIL), para alcançar o índice de iodo pretendido (I_2 No. GOAL), conforme será descrito com pormenores mais adiante. O sistema de controlo distribuído 14 está também ligado, através dum algoritmo PID (PID) a um medidor 22 do caudal de solução aditiva de potássio e a uma válvula 24 para o caudal automaticamente regulável. O medidor do caudal 22 é, de preferência, um medidor de caudal do tipo Coriolis, tal como o medidor do caudal de óleo 16. A válvula do caudal 24 é montada a montante ou a jusante do medidor do caudal 22 numa linha 26 para a solução aditiva de potássio, do reactor de negro de fumo. Portanto, o sistema de controlo distribuído 14 também controla o funcionamento da válvula 22, a fim de ajustar automaticamente o caudal da solução aditiva de potássio (K^+S), para se obter o valor de DBP pretendido (DBP GOAL), como será descrito com detalhes mais adiante.

Voltando à Figura 3, ilustra-se um fluxograma que descreve conceptualmente os procedimentos do método de controlo do processo de acordo com a presente invenção. As etiquetas S_1 até S_{12} indicam a operação 1 até à operação 12. Quando o método de controlo do processo está em funcionamento, conforme indicado em S_1 , o sistema de controlo distribuído 14 produz um índice de iodo previsto (I_2 No. p) e um valor de DBP

previsto (DBP_p), conforme está indicado em S_2 , de acordo com o algoritmo do índice de iodo e o algoritmo do DBP, respectivamente, já acima descritos. Preferencialmente, o algoritmo do índice de iodo e, portanto, as equações para as variáveis de entrada de alimentação são realizadas como sub-rotinas no sistema de controlo distribuído 14. De forma semelhante, as equações do algoritmo para o DBP são também preferivelmente realizadas pelo sistema de controlo distribuído 14 em sub-rotinas. Depois de se calcular cada índice de iodo $I_{2No.p}$ e cada valor de DBP_p , cada um deles é memorizado na memória de computador de controlador do sistema 10. O sistema de controlo distribuído 14 calcula, tanto o $I_{2No.p}$, como o DBP_p , uma vez em cada segundo, aproximadamente, com base nas leituras da variável de entrada corrente, como se indica em S_3 . Cada índice $I_{2No.p}$ e valor DBP_p é então registado na memória do controlador do sistema 10. Depois, conforme se indica em S_4 , os valores de $I_{2No.p}$ e de DBP_p memorizados na memória do computador durante cada intervalo de dois minutos, são convertidos num valor médio, $I_{2No.AVG}$ e DBP_{AVG} , pelo sistema de controlo distribuído 14 e memorizados na memória do computador.

Com base no valor $I_{2No.AVG}$ durante o intervalo de 2 minutos, o novo caudal de material de alimentação (OIL_{FOVO}) é então determinado pelo sistema de controlo distribuído 14, conforme se indica em S_5 . De modo semelhante, com base no DBP_{AVG} durante o intervalo de 2 minutos, determina-se também o novo caudal da solução aditiva de potássio (K^+S_{AVG}). As equações (5) até (7) e as equação (17) até (21), conforme foram acima descritas, são preferivelmente realizadas como sub-rotinas no sistema de controlo distribuído 14, para determinar, tanto o novo caudal do material de alimentação (OIL_{FOVO}) e o novo caudal da solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}) respectivamente. Com base no novo caudal de material de alimentação (OIL_{FOVO}) e no novo caudal de solução aditiva de potás

sio (K^+S_{NOVO}), o sistema de controlo distribuído 14 determina então o grau de ajustamento da válvula 18 e da válvula 24 por meio do emprego de algoritmo PID conforme será descrito mais adiante. O novo caudal de material de alimentação (OIL_{NOVO}) e o novo caudal de solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}) são depois, cada um deles, actualizados de 2 em 2 minutos. Por sua vez, as válvulas 18 e 24 são ajustadas de 2 em 2 minutos, com base no novo índice $I_{2No.AVG}$ e no novo valor DBP AVG , respectivamente, para se obterem os novos caudais, conforme se indica em S_7 .

A primeira operação nas características de medição em laboratório, fora da linha, de acordo com a presente invenção, está indicado em S_8 , o qual indica que o controlador do sistema 10 computa a média e o desvio-padrão do índice $I_{2No.p}$ e do valor DBP_p , calculados segundo a segundo (ou noutro intervalo de tempo regular) durante o período de tempo em que se toma a amostra de negro de fumo. O negro de fumo produzido é retirado em amostras a intervalos de tempo regulares, por exemplo geralmente dentro do intervalo de cerca de uma até cerca de quatro horas, e tanto o índice de iodo, como o valor de DBP da amostra são medidos num laboratório ($I_{2No.LAB}$ e DBP_{LAB}), conforme se indica em S_9 . Já foi acima mencionado que o intervalo da amostragem do negro de fumo está geralmente compreendido entre cerca de 2 a 20 minutos. Depois, a interceptação do novo método (KO) para o algoritmo do índice de iodo é actualizada pelo controlador do sistema 10, com base nos índices de iodo $I_{2No.LAB}$ e $I_{2No.AVG}$, calculados durante o período em que se tomou a amostra, conforme está indicado em S_{10} . Preferivelmente, as equações (8) a (14), acima descritas, são realizadas como sub-rotinas no controlador do sistema 10. De modo semelhante, o factor de escala (F) é também ajustado com base nos valores DBP_{LAB} e DBP_{AVG} durante o período em que se tomou a amostra. De preferência, as equações

(22) a (29), acima descritas, são também realizadas como sub-rotinas no sistema de controlo distribuído 14. A intercepção do novo sistema (KO_{NOVO}) é depois usada para actualizar o algoritmo do índice de iodo, para determinar índices de iodo previstos com mais exactidão ($I_2No._p$), até que a amostra seguinte de negro de fumo é retirada, como está indicado em S_{11} . Analogamente, o novo factor de escala (F_{NOVO}) é usado para actualizar o algoritmo do DBF, a fim de determinar valores de DBF mais exactos até que se toma a amostra seguinte de negro de fumo, como também se indica em S_{11} . Conforme se indica em S_{12} , o algoritmo do índice de iodo e o valor do DBF são, cada um, actualizados, sempre que se toma uma amostra de negro de fumo, e, portanto, dentro do intervalo de tempo compreendido entre 1 e 4 horas, aproximadamente.

Voltando à Figura 4, ilustra-se um fluxograma que descreve conceptualmente os procedimentos do sistema de controlo distribuído 14 na previsão, tanto do índice de iodo $I_2No._p$ de acordo com o algoritmo de índice de iodo, como do valor de DBF, de acordo com o algoritmo do DBF, conforme acima descritos. O sistema de controlo distribuído 14 lê, primeiramente, os dados de entrada necessários para calcular as variáveis de entrada de alimentação para o algoritmo do índice de iodo, e a variável de entrada para o algoritmo do DBF, conforme está indicado em S_1 . As variáveis de entrada para o algoritmo do índice de iodo, incluem o caudal de material de alimentação, o caudal de gás, o caudal de ar, a temperatura de pré-aquecimento do ar e a humidade do ar. A $AEBC$ (qualidade do combustível) é uma variável de controlo calculada, e a $ALBO$ (qualidade do material de alimentação) é essencialmente uma variável de controlo constante, conforme acima descrita. As variáveis de entrada para o algoritmo do DBF são o caudal da solução aditiva de potássio e o caudal de material de alimentação.

Wifama

Após a leitura dos dados de entrada, o sistema de controlo distribuído compara então os dados de entrada com um intervalo permissível de valores para cada variável, conforme se indica em S_2 . Se qualquer valor sair do seu intervalo permissível, (BAD), então uma bandeira de dados mais, que é o sinal digital, é estabelecido, como se indica em S_3 . Se a bandeira de dados maus for estabelecida, então o $I_2No. p$ e/ou o DBP_p não é (são) calculado(s) com base nesses dados. Se todos os dados se enquadrarem nos intervalos permissíveis, então o $I_2No. p$ e o DBP_p são calculados com base nesse conjunto de dados de entrada mediante o emprego do algoritmo do índice de iodo e do algoritmo do DBP, respectivamente, como se indica em S_4 . Cada um dos valores $I_2No. p$ e DBP_p são depois comparados a um intervalo realista, dentro do qual cada variável de saída deve recair, conforme se indica em S_5 . Se o $I_2No. p$ ou o DBP_p não estiver dentro do intervalo permissível, então estabelece-se a bandeira de dados errados e os valores correntes para $I_2No. p$ e/ou DBP_p não são usados, dependendo se um ou ambos saem do seu respectivo intervalo permissível. Se o $I_2No. p$ ou o DBP_p realmente se enquadrarem nos seus intervalos permissíveis, então os seus valores são registados na memória do computador do controlador do sistema IC, conforme se indica em S_6 e são, mais tarde (no fim do intervalo de tempo regular) usados para actualizar o caudal do material de alimentação e o caudal da solução aditiva de potássio, respectivamente.

Referindo agora a Figura 5, está ilustrado um fluxograma que descreve conceptualmente as operações do sistema de controlo distribuído 14 para regular, tanto o caudal de material de alimentação, como o caudal da solução aditiva de potássio. Como se mostra em S_1 , se se estabelecer a bandeira de dados errados, durante as operações de previsão do índice de iodo e/ou do valor do DBP (BAD), como se ilustra em S_3 na

Figura 4, então a bandeira de dados errados é retirada e as operações de ajustamento, como estão ilustradas na Figura 5, não são implementadas para esse intervalo de tempo regular, para qualquer que seja o algoritmo que tiver os dados de entrada errados. No entanto, se a bandeira de dados errados não for estabelecida durante o intervalo de dois minutos, então o sistema de controlo distribuído lê os dados de entrada para determinar o novo ponto de determinação do material de alimentação (OIL_{NOVO}) e/ou da solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}), como está indicado em S_2 . Os dados de entrada para OIL_{NOVO} incluem os valores AIR_{AVG} , GAS_{AVG} , $ATBG$, $APBO$ e DAG_{AVG} , conforme estão definidos na equação (7). Os dados de entrada para o K^+S_{NOVO} incluem os valores K^+S_{AVG} , OIL_{AVG} , DEF_{AVG} e Z_{AVG} , definidos nas equações (17) a (21).

Os dados de entrada são então comparados com um intervalo permissível de valores para cada termo, como se indica em S_3 . Se qualquer dos valores sair dos respectivos intervalos permissíveis, então estabelece-se a bandeira de dados errados (BAD). Consequentemente, o ponto de caudal de material de alimentação (OIL_{NOVO}) e o caudal da solução aditiva de potássio (K^+S_{NOVO}) não são ajustados para esse intervalo de tempo regular, se os dados de entrada para um deles e/ou ambos forem errados. Se todos os valores se enquadrarem nos intervalos permissíveis, então o OIL_{NOVO} e K^+S_{NOVO} são actualizados como se descreve acima e se indica em S_4 . Tanto o OIL_{NOVO} como o K^+S_{NOVO} são depois comparados, cada um, com um intervalo de valores permissível, como se indica em S_5 . Se o OIL_{NOVO} ou o K^+S_{NOVO} sair do seu respectivo intervalo permissível (BAD), então terminam as operações para esse respectivo termo e o seu caudal não é ajustado. Se o OIL_{NOVO} e K^+S_{NOVO} se enquadrarem de facto nos seus intervalos permissíveis, então os valores para OIL_{NOVO} e K^+S_{NOVO} são processados através dum algoritmo PID, para actualizar o caudal de material de

Wifama

alimentação e o caudal de solução aditiva de potássio, respectivamente, como se indica em S_6 .

Em relação à Figura 6, está esquematicamente ilustrado um típico algoritmo PID, que é empregado de preferência para ajustar o novo caudal do material de alimentação (OIL_{NOVO}) ou para ajustar o novo caudal da solução de aditivo de potássio (K^+S_{NOVO}). O medidor do caudal de material de alimentação 16 e o medidor do caudal da solução aditiva de potássio 22 são, cada um, ligados respectivamente a um transmissor de caudal (FT). Cada transmissor (FT) é, por sua vez, ligado ao sistema de controlo distribuído 14 e transmite um sinal (F_m) correspondente ao caudal medido, conforme é avaliado pelo seu respectivo medidor de caudal. Os sinais para os novos pontos de caudal, tanto para o material de alimentação, como para a solução aditiva de potássio (F_{sp}) são depois comparados com os seus respectivos sinais de caudal medidos (F_m) produzidos pelos medidores. Com base nas respectivas comparações, um sinal de erro ($e(t)$), que é igual ao respectivo sinal de ponto de caudal (F_{sp}) menos o respectivo sinal de caudal medido (F_m) é produzido para cada respectivo caudal. Depois, com base nos respectivos sinais de erro ($e(t)$), um respectivo algoritmo PID, que é conhecido dos técnicos, produz um sinal de saída ($c(t)$), que corresponde ao ajustamento que deve ser feito nas respectivas válvulas de passagem 18 ou 24, para se obterem os pontos de determinação do caudal. Cada sinal de saída é depois enviado a uma respectiva corrente para o conversor pneumático (I/P). As correntes para os conversores pneumáticos (I/P) são acopladas, respectivamente, à válvula de passagem do óleo e à válvula para a solução aditiva de potássio 24, para o ajustamento de cada respectiva válvula. As correntes para os conversores pneumáticos (I/P), portanto, produzem uma saída pressurizada, correspondente ao respectivo sinal de saída PID ($c(t)$), que, por sua vez, ajusta a sua respectiva válvula para se obter o ponto de determinação do caudal. Por

tanto, cada algoritmo PID continua a produzir alterações no sinal de saída ($c(t)$), até que não mais haja um sinal de erro ($e(t)$) e assim os pontos de determinação dos caudais são alcançados.

Referindo a Figura 7, ilustra-se um fluxograma, que descreve conceptualmente as operações do controlador do sistema 10 para actualizar a intercepção do sistema (K_0) do algoritmo do índice de iodo e/ou o factor de escala (F) do algoritmo do DBP no fim de cada período de amostragem de negro de fumo. Conforme se indica em S_1 , o controlador do sistema pede à memória o índice de iodo $I_{2No.P}$ e o valor DBP_P calculados e memorizados durante o período de tempo em que se fez a amostragem. Se o controlador de sistema não poder solicitar devidamente os dados (fracassados), então os algoritmos não são ajustados. O controlador do sistema 10 depois lê os valores para a corrente $I_{2No.LAB}$ e o DBP_{LAB} e compara-os com um intervalo permissível de valores. Se um dos dois valores estiver fora do intervalo, o seu respectivo algoritmo não é ajustado. O controlador do sistema 10 então emprega a operação $CUSUM$, a qual determina as somas correntes, $S_{I(i)}$ e/ou $S_{L(i)}$ para os valores correntes $I_{2No.LAB}$ e DBP_{LAB} , conforme se indica em S_3 . Se $S_{I(i)} \geq h$ ou $S_{L(i)} \leq -h$ para cada variável de saída medida ($I_{2No.LAB}$ ou DBP_{LAB}), o controlador do sistema produz um sinal de alarme. Se se gerar um sinal de alarme, então o ganho de filtro de Kalman (K_I) para o algoritmo do índice de iodo e/ou o ganho de filtro de Kalman do DBP (K_D) para o algoritmo do DBP são ajustados para 1, dependendo do facto de um sinal de alarme ser ou não produzido para uma ou as duas variáveis de saída. Portanto, a nova intercepção do sistema (K_{0NOVO}) para o algoritmo do índice de iodo e/ou o novo factor de escala (F_{NOVO}) para o algoritmo do DBP são ambos baseados unicamente nos valores medidos em laboratório de $I_{2No.LAB}$ e DBP_{LAB} , respectivamente. No entanto, se não for produzido

Wifama

um sinal de alarme, então o controlador do sistema determina as novas propriedades analíticas filtradas, $I_{2\text{No.FILTRO}}$ e $\text{DBP}_{\text{FILTRADO}}$ e, por sua vez, ajusta a constante de intercepção do sistema (KO) e o factor de escala (F) para actualizar o algoritmo do índice de iodo e o algoritmo do DBP, respectivamente, como indicado em S_4 . Depois, como se indica em S_5 , os valores para a nova intercepção do sistema (KO_{NOVO}) e o factor de escala (F_{NOVO}) são comparados com um intervalo permisi-
sível para cada valor. Se um valor estiver fora do intervalo, então não é usado para actualizar o seu respectivo algoritmo. Se os valores para KO_{NOVO} e F_{NOVO} estiverem, cada um, dentro do intervalo, então eles são registados na memória, como se indica em S_6 . Depois de registar os valores na memória, o controlador do sistema 10 remove a bandeira de entrada de dados, como se indica em S_7 , até ao fim do período de amostragem seguinte.

Wifama

REIVINDICAÇÕES:

1ª. - Método de controlo do processo de produção de negro de fumo num reactor de negro de fumo, caracterizado pelo facto de compreender as operações que consistem em

se medir, em intervalos regulares, pelo menos uma variável da saída utilizada na produção de negro de fumo, enquanto o reactor de negro de fumo está a funcionar;

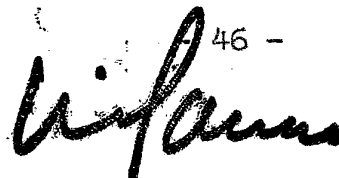
se empregar pelo menos um algoritmo para prever, a intervalos de previsão regulares, pelo menos uma variável de saída de negro de fumo, com base pelo menos na citada variável de entrada durante o intervalo de tempo referido;

se determinar, em intervalos de tempo médios um valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista durante o mencionado intervalo médio; e

se regular, em intervalos de tempo regulares, pelo menos uma das citadas variáveis de entrada segundo um algoritmo de ajustamento que usa a diferença entre o referido valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista e um valor pretendido de pelo menos uma variável de saída, enquanto o reactor está a funcionar, para se obter o valor desejado dessa variável de saída, a fim de se alcançar uma qualidade substancialmente consistente do negro de fumo.

2ª. - Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de compreender ainda as operações que consistem em se fazer a amostragem, em intervalos de tempo de amostragem regulares, do negro de fumo produzido, durante o funcionamento do reactor de negro de fumo;

se medir pelo menos a mencionada variável prevista pelo citado algoritmo a partir da amostra de negro de fumo, enquanto o reactor de negro de fumo está a funcionar; e



se ajustar pelo menos o referido algoritmo com base no citado valor medido de pelo menos a mencionada variável de saída, a fim de prever mais correctamente pelo menos a citada variável de saída.

3a. - Método de acordo com qualquer das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo facto de

se escolher pelo menos uma variável de saída prevista, do grupo que inclui o índice de iodo e o DBP;

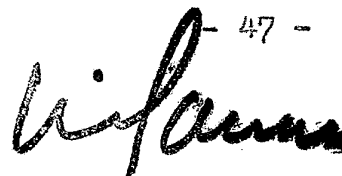
se escolher pelo menos uma variável de entrada ajustada do grupo que inclui o caudal de alimentação e o caudal de alimentação do aditivo de potássio; e

se escolherem as referidas variáveis de entrada, medidas em intervalos regulares de tempo, num grupo que inclui o caudal do agente oxidante o caudal do material de alimentação, o caudal do combustível de primeira operação, a temperatura de pré-aquecimento do agente oxidante e o caudal da solução do aditivo de potássio.

4a. - Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo facto de

se ajustar o referido caudal do material de alimentação mediante o emprego da relação entre a diferença do índice do iodo pretendido e o valor médio do índice do iodo previsto durante o citado intervalo médio, e a diferença entre a nova combustão global necessária para atingir o índice de iodo pretendido e o valor médio geral da combustão durante o referido intervalo de tempo médio; e

se ajustar o referido caudal da solução de aditivo de potássio por meio da aplicação da diferença entre o valor médio do DBP durante o mencionado intervalo de tempo regular médio e o valor do DBP pretendido.



5a. - Método de acordo com qualquer das reivindicações 2 a 4, caracterizado pelo facto de

se ajustar pelo menos um algoritmo pela utilização de uma média pesada da melhor avaliação da variância do erro do valor corrente previsto de pelo menos uma variável de saída do negro de fumo e a variância do erro do valor medido de pelo menos a citada variável de saída.

6a. - Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo facto de

se ajustar pelo menos um algoritmo empregando pelo menos um segundo algoritmo para determinar um novo valor calculado de pelo menos uma variável de saída, por utilização das citadas variâncias pesadas do erro e a diferença entre o valor medido de pelo menos uma variável de saída e o referido valor médio dos mencionados valores previstos para pelo menos uma variável de saída durante o período de tempo em que se retirou a amostra, e acitada nova variável de saída calculada proporcionada por pelo menos por um citado segundo algoritmo ser, por sua vez, empregada para ajustar o referido algoritmo a fim de se prever mais correctamente a citada variável de saída.

7a. - Método de acordo com qualquer das reivindicações 2 a 6, caracterizado pelo facto de

se prever pelo menos uma variável de saída em intervalos de tempo regulares de previsão dentro da gama compreendida entre um segundo e vinte segundos;

se determinar o valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista em intervalos regulares de cálculo da média dentro da gama de intervalos compreendidos entre cerca de um minuto e três minutos; e

os citados intervalos regulares de amostragem, do negro de

Wifama

fumo produzido, estarem dentro da gama compreendida entre cerca de meia hora e cerca de 5 horas.

8a. - Método de acordo com qualquer das reivindicações 2 a 7, caracterizado pelo facto de compreender as seguintes operações que consistem em

se controlar os citados valores medidos de pelo menos uma variável da saída do negro de fumo a fim de detectar um desvio indesejável na média da referida variável de saída.

9a. - Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo facto de

se controlar os citados valores medidos de pelo menos uma variável de saída somando a diferença entre o valor corrente medido da citada variável de saída e o valor pretendido para a mencionada variável de saída, mais ou menos um valor de folga pré-determinado e o valor da citada soma ser comparado com um intervalo de decisão pré-determinado, e, se o valor da citada soma não se enquadrar dentro do mencionado intervalo de decisão, se produzir um sinal de alarme.

10a. - Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo facto de

se determinar o mencionado valor da folga de tal maneira que, quando ele é somado ao e subtraído do valor pretendido de pelo menos uma variável de saída, os dois valores resultantes definirem substancialmente um intervalo dentro de aproximadamente um desvio-padrão, ou dentro do qual mais do que 60% dos valores medidos de pelo menos uma das variáveis de saída estão compreendidos.

11a. - Aparelho para controlar a produção de negro de fumo num reactor de negro de fumo, caracterizado pelo facto de compreender meios de medição para medir, em intervalos

Wifama

regulares, pelo menos uma variável de entrada empregada na produção de negro de fumo enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento;

meios de computação acoplados aos citados meios de medição, para preverem, em intervalos regulares de tempo uma variável de entrada do negro de fumo consoante pelo menos um algoritmo que usa a citada variável de entrada medida durante o referido intervalo de tempo regular, determinando ainda os referidos meios de computação, em intervalos de tempo regulares médios um valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista; e

meios de ajustamento, acoplados aos citados meios de computação, para ajustarem, em intervalos regulares de tempo pelo menos uma variável de entrada consoante um algoritmo de ajustamento que usa a diferença entre o citado valor médio de pelo menos uma variável de saída prevista e um valor pretendido de pelo menos uma variável de saída, para se alcançar o valor pretendido dessa variável de saída enquanto o reactor está em funcionamento, a fim de se obter um negro de fumo com uma qualidade substancialmente consistente.

122. - Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo facto de compreender ainda

meios de amostragem para a obtenção de amostras, em intervalos de tempo regulares, do negro de fumo produzido enquanto o reactor de negro de fumo está em funcionamento de forma que pelo menos a citada variável de saída pode ser medida a partir da amostra de negro de fumo e os referidos meios de computação respondem ao citado valor medido de pelo menos uma variável de saída para ajustar pelo menos o citado algoritmo mediante o uso do referido valor medido de pelo menos uma variável de saída a fim de prever mais correctamente a citada variável de saída.

Wifama

13ª. - Aparelho de acordo com qualquer das reivindicações 11 ou 12, caracterizado pelo facto de os referidos meios de computação ajustarem pelo menos um algoritmo para determinarem um valor calculado de pelo menos uma variável de saída, através da utilização de uma média pesada da melhor estimativa da variância de erro do valor previsto corrente de pelo menos uma variável de saída e da variância do erro do valor medido da mencionada variável de saída, e os citados meios de computação, por sua vez empregarem a citada variável de saída calculada para ajustarem pelo menos um algoritmo, a fim de preverem mais correctamente a referida variável de saída.

Lisboa, 5 de Julho de 1990

O Agente Oficial da Propriedade Industrial

A. de L. Wifama

AMÉRICO DA SILVA CARVALHO
Agente Oficial de Propriedade Industrial
Rua Castilho, 201, 3.º-E.
1000 LISBOA

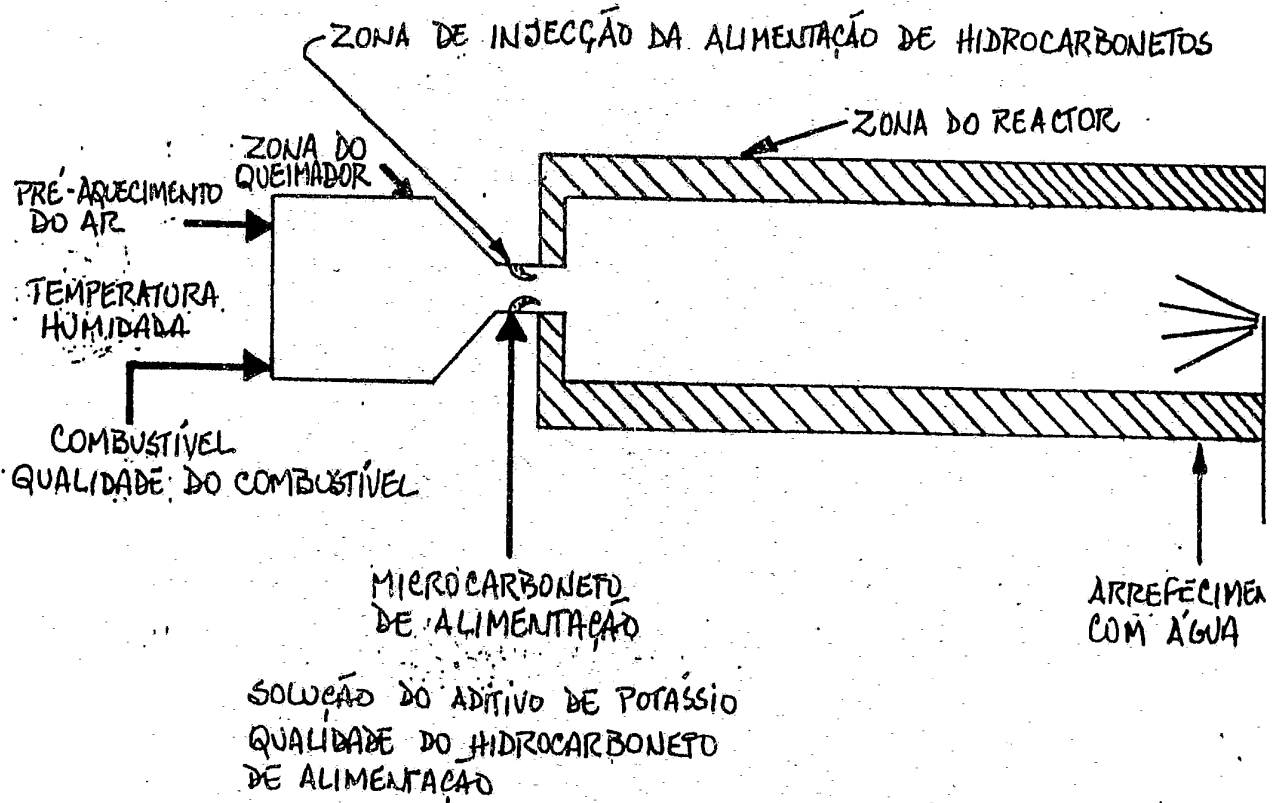


FIGURA 1

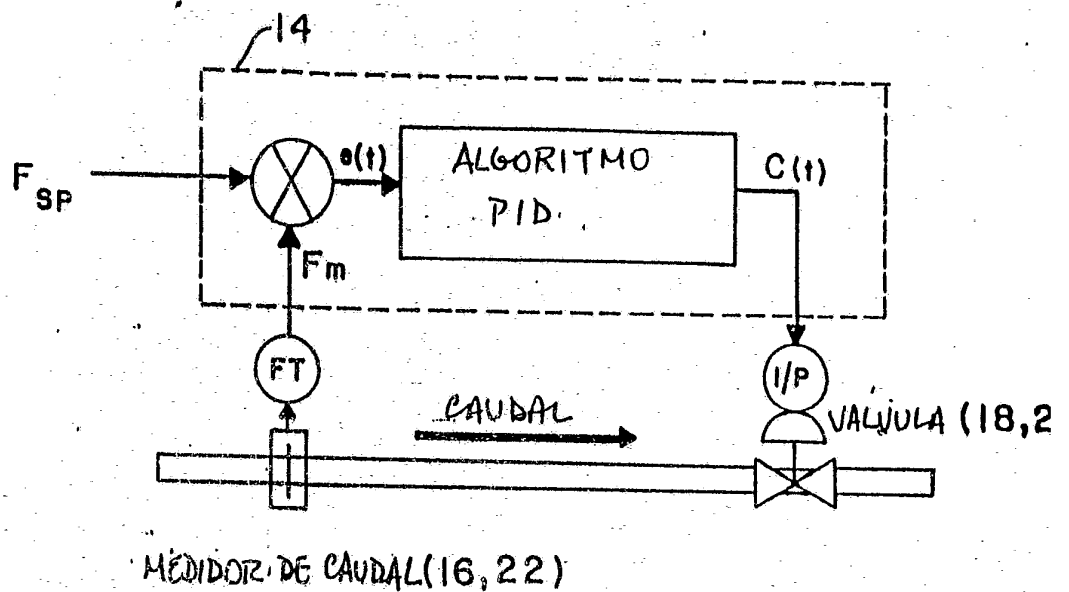


FIGURA 6

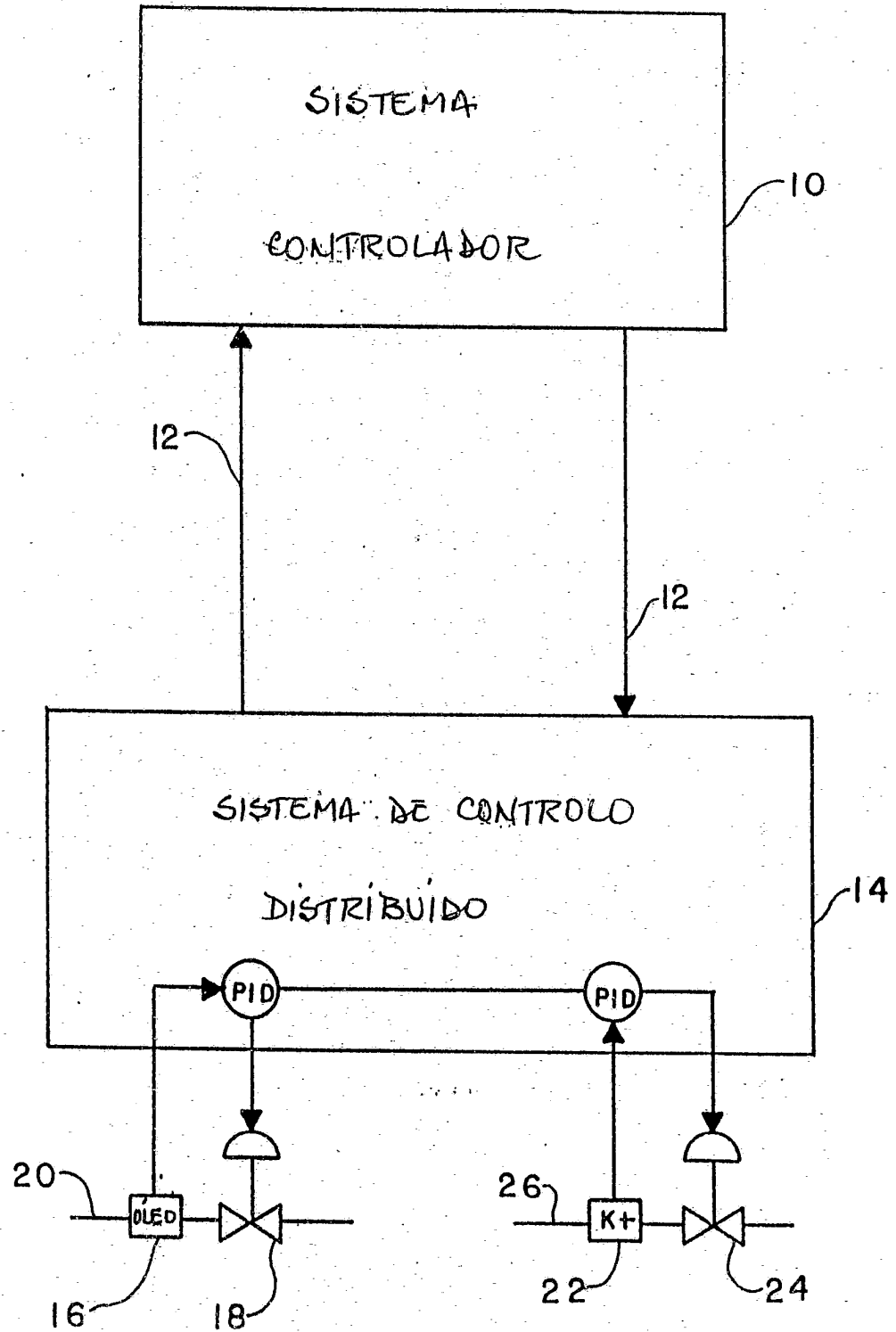


FIGURA 2

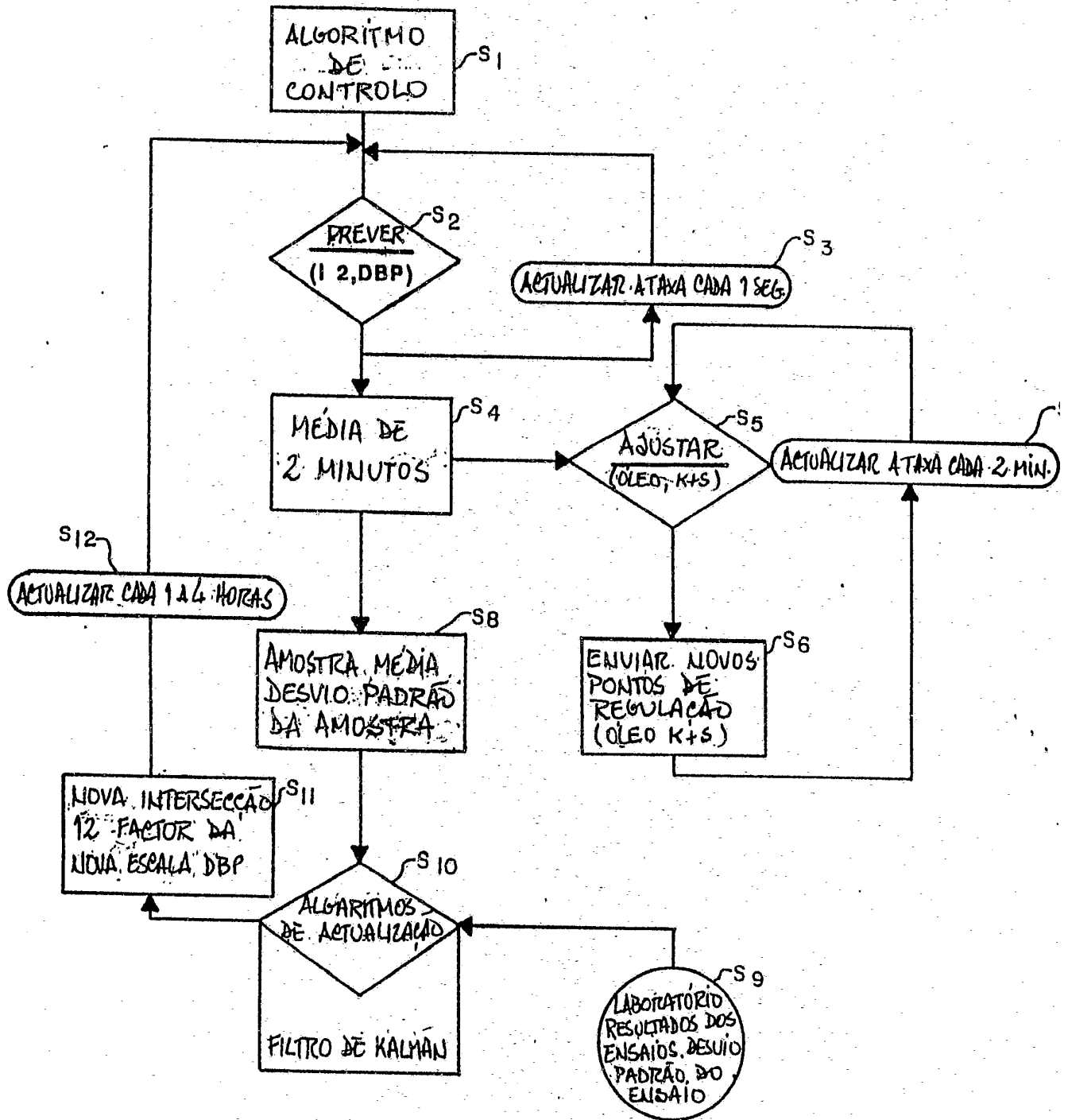


FIGURA 3

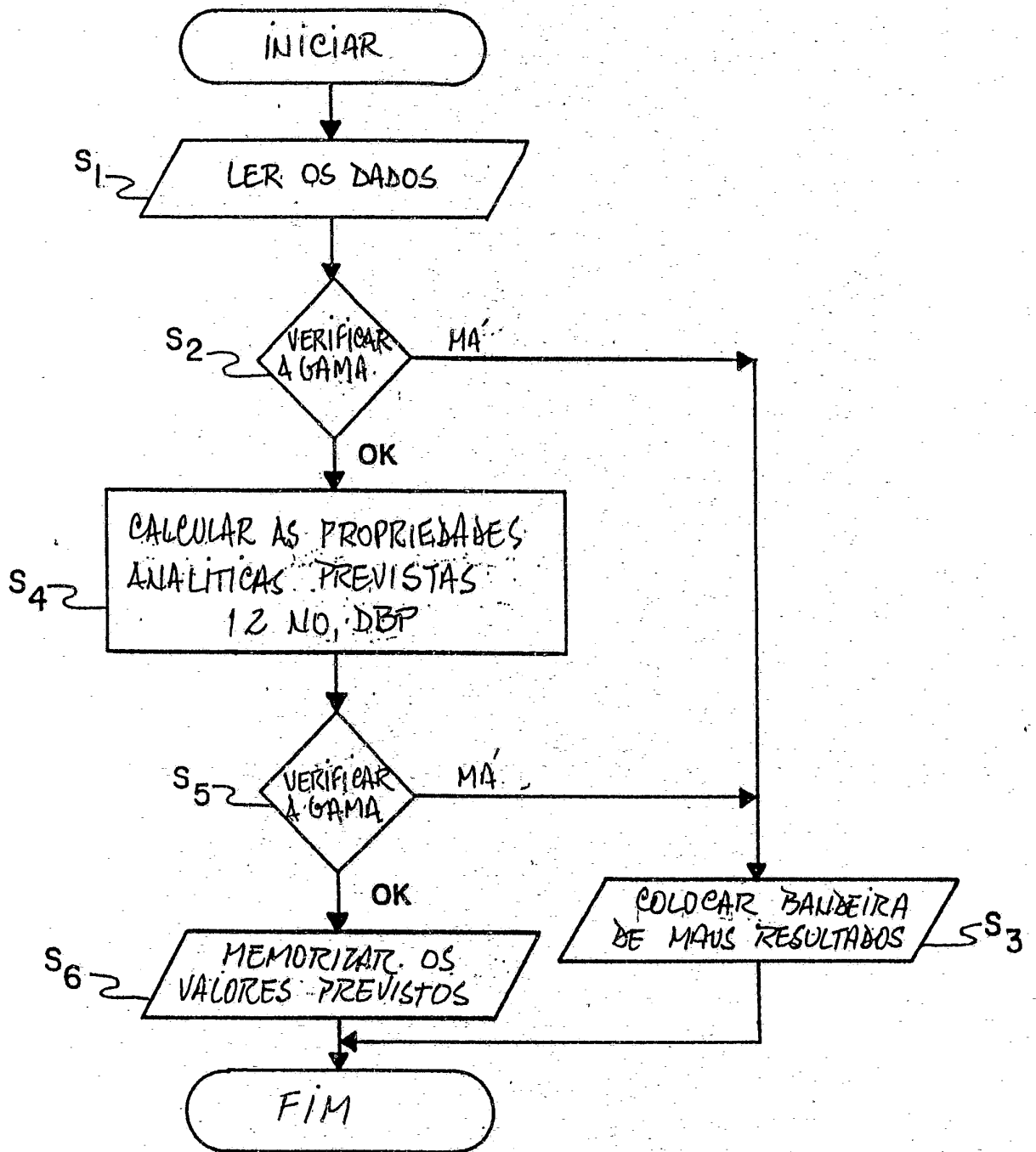


FIGURA 4

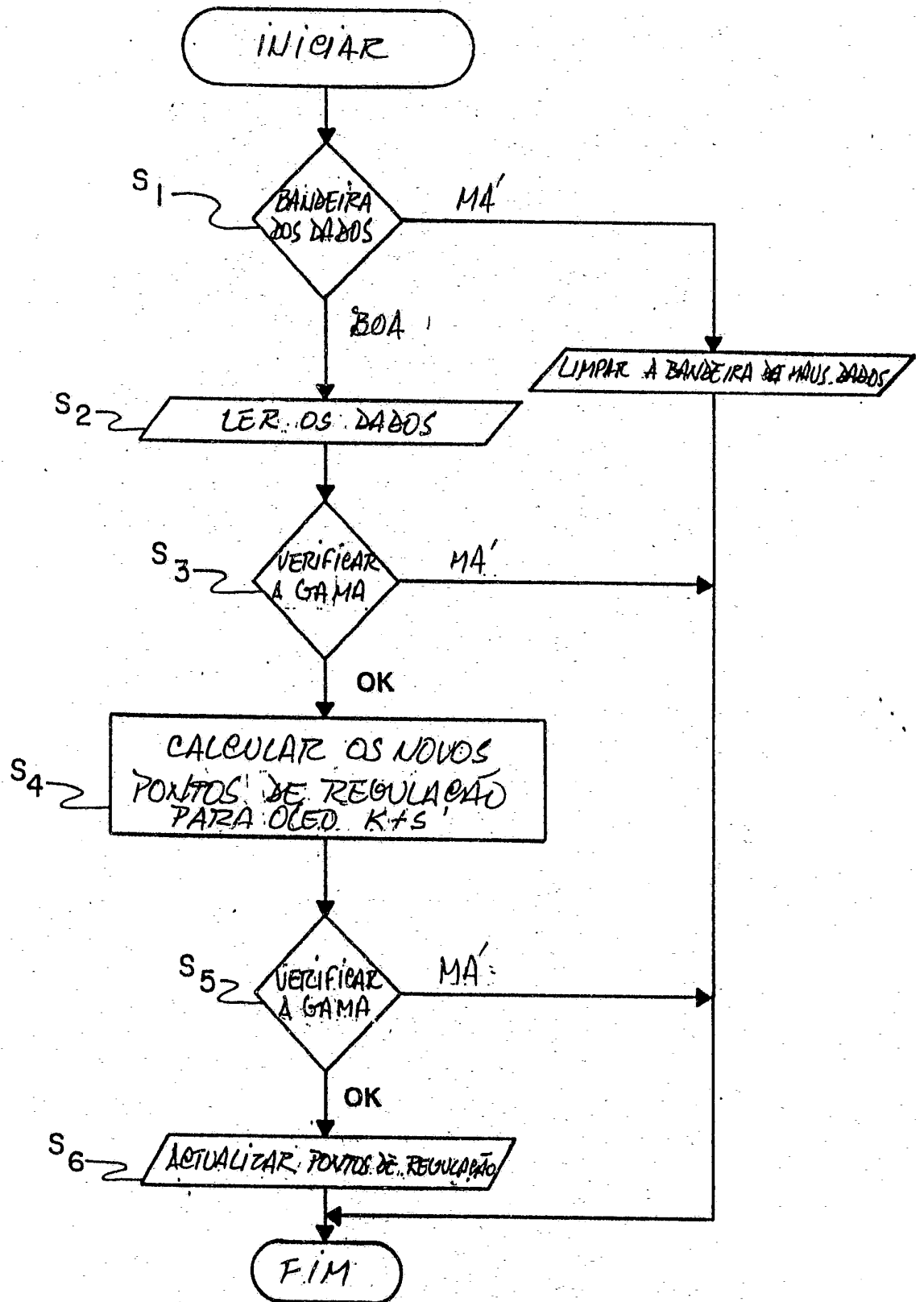


FIGURA 5

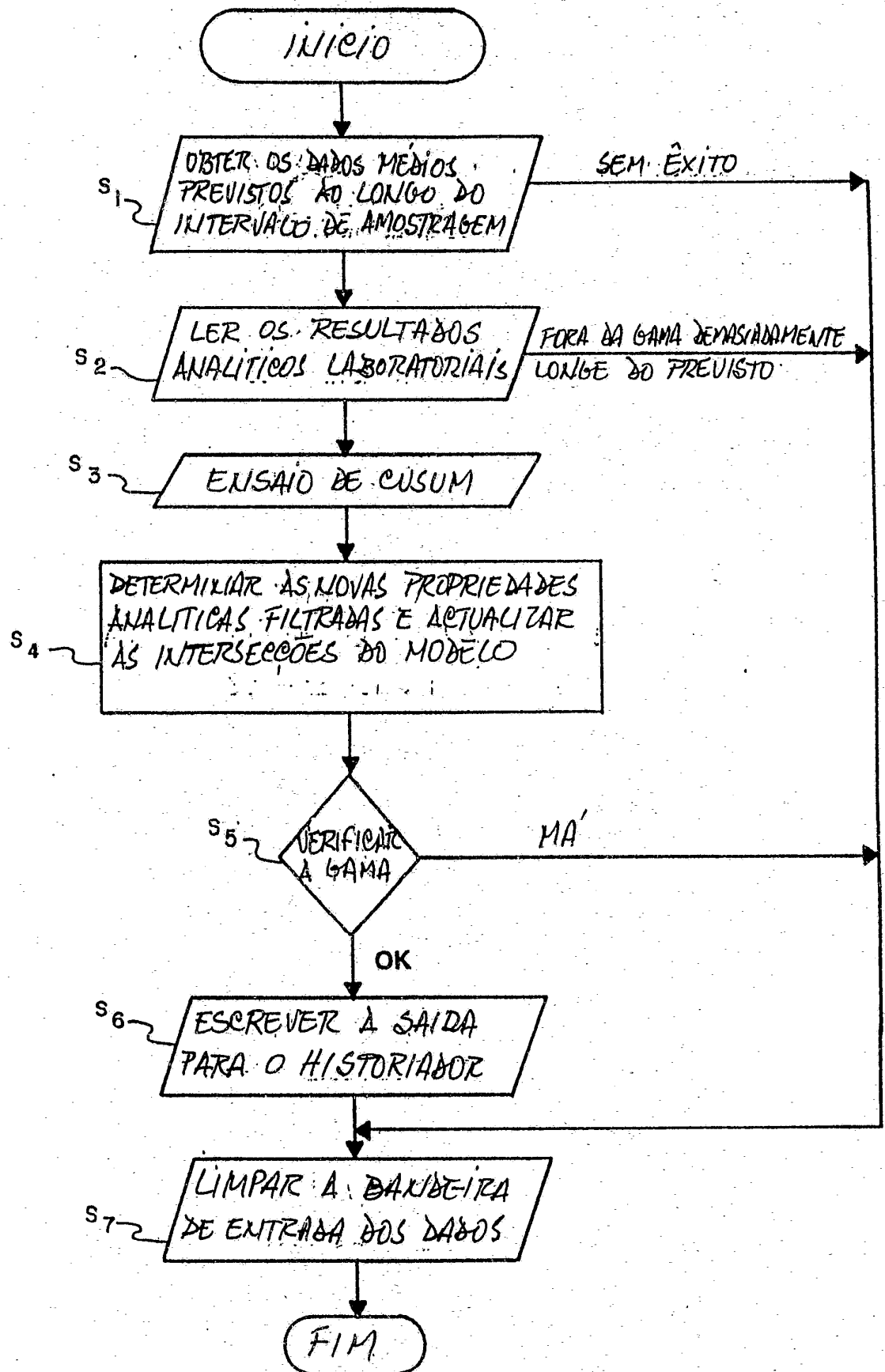


FIGURA 7