

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 592**

51 Int. Cl.:

B01D 53/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2014 PCT/FR2014/052266**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015 WO15036711**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2014 E 14784282 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3043884**

54 Título: **Procedimiento regenerativo de eliminación de compuestos de siloxano de un biogás**

30 Prioridad:

13.09.2013 FR 1358865

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.04.2021

73 Titular/es:

**AROL ENERGY (100.0%)
Savoie Technolac, 17 avenue du Lac Léman
73370 Le Bourget du Lac, FR**

72 Inventor/es:

BOSSAN, DAVID

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 818 592 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento regenerativo de eliminación de compuestos de siloxano de un biogás

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se sitúa en el contexto de la purificación de biogás. Más específicamente, la presente invención se refiere a un procedimiento de eliminación de compuestos de siloxano de un biogás.

10 **Estado de la técnica**

El biogás es un gas combustible obtenido mediante fermentación, denominada también metanización, de residuos orgánicos de origen animal o vegetal en ausencia de oxígeno. Está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. También se encuentran en este un poco de nitrógeno, muy poco oxígeno, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno (H₂S) y numerosas sustancias diferentes en muy baja cantidad, particularmente compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), compuestos halogenados, metales pesados y siloxanos. La naturaleza y el contenido de estas sustancias varían considerablemente en función del procedimiento de metanización y de la naturaleza del material metanizado.

El biogás se puede utilizar como combustible en sustitución del gas natural. Sin embargo, dependiendo de los usos previstos, puede ser necesario purificar el biogás para eliminar determinadas sustancias contaminantes. Por ejemplo, cuando se utiliza biogás como combustible de motor, es necesario eliminar los compuestos de siloxano ya que, cuando se oxidan a altas temperaturas, los siloxanos forman depósitos de sílice que pueden dañar seriamente los equipos.

La purificación de biogás se realiza generalmente por medio de filtros que capturan los compuestos indeseables mediante un fenómeno de adsorción. Cuando el material de los filtros está saturado, los filtros usados se sustituyen por otros nuevos, con las consecuencias económicas y ecológicas que ello comporta. Actualmente, las soluciones denominadas regenerativas, es decir, los procedimientos en los que se regeneran y se reutilizan los filtros usados, son escasas.

La solicitud de patente de Estados Unidos US 2013/0137567 presenta un método para eliminar siloxanos de un biogás utilizando un material adsorbente regenerable. El material regenerable utilizado es carbón activado en forma de gránulos dispuesto dentro de un recinto tubular de sección rectangular formado por dos electrodos y dos elementos dieléctricos situados respectivamente uno frente al otro. Cuando el carbón activado está saturado con el contaminante, se puede regenerar haciendo pasar una corriente eléctrica entre los dos electrodos del dispositivo. Esta solución técnica, sin embargo, plantea un problema en cuanto a mantener el contacto eléctrico entre los dos electrodos: si el contacto entre los gránulos de carbón activado es demasiado pequeño, la resistencia eléctrica del material regenerable llega a ser demasiado elevada y la corriente eléctrica ya no circula correctamente. Para solucionar este problema, esta solicitud de patente de Estados Unidos US 2013/0137567 propone la instalación de un elemento vibrador destinado a homogeneizar los contactos entre los gránulos de carbón activado. Sin embargo, esta solución no es óptima: la presencia de este elemento vibrador hace que el dispositivo sea más complejo, más caro de fabricar y difícil de reproducir en una instalación de grandes dimensiones. Además, incluso si se ha homogeneizado usando el elemento vibrador, el material regenerable constituido por carbón activado en forma de gránulos presenta una elevada resistencia eléctrica, lo que hace que la potencia eléctrica requerida para conseguir una regeneración suficiente sea elevada.

Uno de los objetos de la presente invención es proporcionar un nuevo procedimiento regenerativo para eliminar siloxanos de un biogás que sea más eficaz que los de la técnica anterior.

En la técnica anterior se han descrito otros procesos regenerativos para la adsorción de contaminantes en flujos de gases. Se puede citar, en particular, el descrito en la solicitud de patente DE 19828593 A1. Este documento divulga un dispositivo de adsorción de contaminantes en fluidos líquidos y gaseosos (por ejemplo, biogás). Este dispositivo tiene la particularidad de permitir una regeneración del material de adsorción de forma continua y en paralelo con el proceso de adsorción. El material de adsorción se separa en diferentes zonas aisladas entre sí de modo que determinadas zonas están en fase de adsorción mientras que las otras están en fase de regeneración. No obstante, este documento no trata específicamente de la eliminación de siloxanos de un biogás.

La solicitud de patente europea EP 0818617 A describe una disposición de motor que comprende un motor de gas alimentado con gas combustible, un convertidor catalítico situado aguas abajo del motor de gas y un dispositivo de limpieza que adsorbe los contaminantes contenidos en el gas, estando situado este dispositivo aguas arriba del motor. Los principales contaminantes implicados en la presente invención son los siloxanos, contenidos en un biogás. El adsorbente es un filtro de carbón activado. Sin embargo, la regeneración se efectúa a temperaturas muy elevadas (de entre 350 y 450 °C).

La solicitud de patente de Estados Unidos US 2012/0024157 A1 describe un procedimiento de purificación de un

biogás. Este procedimiento se basa en el uso de varias capas de adsorbentes que permiten la adsorción, entre otros, del agua, el sulfuro de hidrógeno y los siloxanos contenidos en el biogás. El filtro utilizado para adsorber los siloxanos es de carbón activado. La regeneración de este filtro se puede efectuar mediante calentamiento hasta 93,33 °C (200 °F).

5
10
15
Igualmente se pueden citar los procedimientos regenerativos de adsorción de contaminantes en flujos gaseosos descritos en la solicitud de patente de Estados Unidos US 2006/0096454 y en la solicitud de patente europea EP 1 170 050. Estos documentos describen el uso de carbón activado en forma de una tela como material adsorbente que se puede regenerar mediante la aplicación de una corriente eléctrica. Sin embargo, los compuestos contaminantes cuya adsorción se busca en estos documentos son esencialmente los residuos de disolventes como el tolueno que están presentes en el aire ambiente. No se trata de la captura de compuestos de siloxano en un biogás. Ahora bien, las propiedades de adsorción y de regeneración de un material adsorbente dependen en gran medida de la naturaleza del compuesto adsorbido, de su concentración y de la naturaleza y de la concentración de las otras especies químicas del gas que contiene el compuesto contaminante. Además, en estos dos documentos, cabe señalar que la etapa de regeneración durante la que se aplica una corriente eléctrica en el material adsorbente se lleva a cabo en ausencia de una corriente de barrido.

20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

Sigue existiendo, por tanto, la necesidad de proporcionar un procedimiento simple y económico que permita eliminar siloxanos de un biogás y regenerar después el material adsorbente. De forma ventajosa, es deseable que la adsorción de los siloxanos sea elevada, pero que la regeneración del material adsorbente consuma la menor cantidad de energía posible. Además, es deseable que la capacidad de adsorción del material se mantenga lo más elevada posible durante los ciclos de adsorción-desorción.

Objeto de la invención

El solicitante ha descubierto que esta necesidad podría ser satisfecha implementando un procedimiento de eliminación de siloxanos contenidos en un biogás mediante su adsorción sobre una tela de carbón activado y después la regeneración termoeléctrica de esta tela de carbón activado.

Así pues, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de tratamiento de un biogás que contiene siloxanos de acuerdo con la reivindicación 1.

Descripción de las figuras

La figura 1 ilustra un dispositivo que se puede utilizar en el procedimiento de acuerdo con la invención.

La figura 2 ilustra esquemáticamente un programa cíclico de tratamiento que se puede usar en el dispositivo representado en la figura 1.

La figura 3 representa la distribución de la velocidad de los flujos de gas en el interior de una cámara de filtración obtenida mediante modelización.

Descripción detallada de la invención

En el contexto de la presente descripción, se entiende que la expresión "comprendido entre" se debe interpretar que incluye los límites indicados.

Además, a menos que se indique lo contrario, los porcentajes expresados en la presente descripción son porcentajes en volumen.

La invención tiene por objeto un procedimiento de tratamiento de un biogás. En la presente invención, se denomina "biogás" a un gas combustible resultante de la fermentación de residuos orgánicos de origen animal o vegetal en ausencia de oxígeno y que está constituido principalmente por metano y dióxido de carbono. Puede ser biogás obtenido de vertederos, de plantas de tratamiento de aguas residuales o de fuentes agrícolas.

Normalmente, el biogás comprende de un 40 % a un 70 % de metano y de un 60 % a un 30 % de dióxido de carbono. Además, el biogás puede contener normalmente nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), compuestos halogenados, metales pesados y siloxanos.

El biogás tratado en la invención contiene siloxanos que son considerados contaminantes y que se desea eliminar del biogás. Por "eliminación de siloxanos" en la presente descripción se entiende un tratamiento que permite retirar, al menos en parte, preferentemente en al menos un 50 %, más preferentemente en al menos un 70 %, incluso más preferentemente en al menos un 90 % y preferiblemente en su totalidad, los compuestos de siloxano presentes en el biogás por tratar. El procedimiento de la presente invención puede ser de forma ventajosa un procedimiento de eliminación de siloxanos.

Por "siloxanos" o "compuestos de siloxano" en el presente documento se entiende el conjunto de compuestos químicos formados por cadenas de silicio-oxígeno, Si-O, en las que los grupos orgánicos se unen a los átomos de silicio. Debido a sus propiedades fisicoquímicas particularmente interesantes, los siloxanos son ampliamente utilizados en procesos de fabricación y en productos comerciales tales como productos cosméticos (cremas, champús...), productos de limpieza y de mantenimiento, barnices, resinas, pinturas y otros tratamientos de superficies, adhesivos y colas, envases plastificados, procesos de encolado y de tratamiento de textiles, equipos de protección, equipos eléctricos y electrónicos, piezas para medicina y farmacia. Al final de su vida útil, estos productos y los siloxanos que contienen se encuentran entre los residuos domésticos e industriales y, por tanto, los siloxanos se encuentran en el biogás obtenido mediante fermentación de estos residuos. La concentración de siloxanos en el biogás es muy variable: los estudios han demostrado que la concentración de siloxanos en el biogás puede variar desde 1,6 mg/Nm³, para los valores más bajos, hasta 140 mg/Nm³. Preferentemente, el biogás tratado en el procedimiento de acuerdo con la invención contiene de 5 mg/Nm³ a 250 mg/Nm³ de siloxanos.

Los siloxanos presentes en el biogás se pueden clasificar en dos familias: los siloxanos cíclicos y los siloxanos lineales. Entre los siloxanos lineales más habituales se pueden citar:

- el hexametildisiloxano o "L2", de fórmula (CH₃)₃-Si-O-Si-(CH₃)₃;

- el decametiltetrasiloxano o "L4", de fórmula

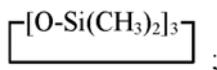


- el dodecametilpentasiloxano o "L5", de fórmula



Entre los siloxanos cíclicos más habituales se pueden citar:

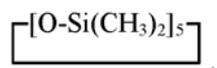
- el hexametilciclotrisiloxano o "D3", de fórmula



- el octametilciclotetrasiloxano o "D4", de fórmula



- el decametilciclopentasiloxano o "D5", de fórmula



A diferencia de otros compuestos químicos que se pueden encontrar en el biogás como, por ejemplo, los COV, la eliminación de los siloxanos es particularmente difícil ya que los siloxanos son compuestos químicos poco reactivos.

El procedimiento de tratamiento del biogás de acuerdo con la invención comprende una etapa (a) que consiste en filtrar un flujo de biogás que contiene siloxanos con un filtro de tela de carbón activado a fin de adsorber siloxanos en dicho filtro.

El carbón activado es un material bien conocido por el experto en la técnica, en particular por sus usos como adsorbente. Puede presentarse en diversas formas, por ejemplo en forma de gránulos o GAC (por "Granular Activated Carbon") o en forma de polvo o PAC (por "Powdered Activated Carbon"), que son las formas más comunes. El carbón activado en forma de polvo se puede usar con un aglutinante para formar bloques sólidos. El carbón activado también se puede obtener en forma de fibras que se pueden utilizar para formar telas o fieltros. En la presente invención, el filtro es una tela de carbón activado o ACC (por "Activated Carbon Cloth"). Se puede seleccionar entre telas tejidas y telas de punto. El aspecto de una tela de carbón activado es el de una tela normal. La estructura suave de la tela de carbón activado permite un fácil conformado. Su espesor puede estar comprendido entre 0 mm y 5 mm, preferentemente entre 0 mm y 2 mm y más preferentemente entre 0 mm y 1 mm. Debido a la porosidad de las fibras de carbón activado y de su tejido o tricotado, la tela de carbón activado presenta una superficie específica elevada, preferentemente superior a 1000 m²/g, más preferentemente superior a 1500 m²/g y, aún más preferentemente, superior a 2000 m²/g, medida de acuerdo con el método BET. (Brunauer-Emmett-Teller). El volumen de poros puede ser preferentemente superior a 0,3 cm³/g, más preferentemente superior a 0,5 cm³/g, y, aún más preferentemente, superior a 1,0 cm³/g. La estructura es preferentemente microporosa, es decir, está provista de poros cuyo diámetro no supera los 2 nanómetros. El porcentaje de volumen microporoso es

preferentemente superior al 30 %, más preferentemente superior al 50 % y, aún más preferentemente, superior al 75 %.

5 Las telas de carbón activado están actualmente disponibles en el mercado para aplicaciones tales como la filtración, la adsorción y la separación. Se pueden citar en particular telas tejidas y telas de punto disponibles en Calgon Carbon con el nombre Zorflex® ACC.

10 La etapa (a) del procedimiento de acuerdo con la invención corresponde a la fase de adsorción de los siloxanos contenidos en el biogás por el filtro de tela de carbón activado. Para ello, se envía una corriente gaseosa de biogás a una de las caras del filtro. A medida que el gas pasa a través del filtro, el filtro adsorbe al menos una parte de los compuestos de siloxano. La adsorción se lleva a cabo preferentemente a una temperatura comprendida entre 0 °C y 100 °C, más preferentemente entre 0 °C y 50 °C y, aún más preferentemente, entre 0 °C y 35 °C. Además, la presión del biogás durante la etapa de filtración (a) preferentemente está comprendida entre 0 bar y 20 bar y, más preferentemente entre 0 bar y 10 bar y, aún más preferentemente, entre 0 bar y 1 bar (en presión relativa, por diferencia con la presión atmosférica).

15 La corriente de gas recogida a la salida del filtro tiene ventajosamente una concentración de siloxanos inferior a 2 mg/Nm³, preferentemente inferior a 1 mg/Nm³, más preferentemente comprendida entre 0 y 0,5 mg/Nm³.

20 La etapa de filtración (a) se continúa durante un tiempo denominado Ta. De acuerdo con un modo de realización, la etapa (a) se detiene después de un tiempo definido previamente y que corresponde preferentemente a la saturación del filtro. De acuerdo con otro modo de realización, la concentración de siloxano se mide de forma continua en la corriente de gas recogida a la salida del filtro. La etapa (a) se puede detener cuando la concentración de siloxano medida supera un umbral previamente definido, preferentemente de aproximadamente 5 mg/Nm³, más preferentemente de aproximadamente 3 mg/Nm³ y, aún más preferentemente, de aproximadamente 1 mg/Nm³. El tiempo Ta preferentemente está comprendido entre 1 hora y 24 horas y, más preferentemente, entre 8 horas y 24 horas.

30 El procedimiento de tratamiento del biogás de acuerdo con la invención comprende además una etapa (b1) que consiste en regenerar dicho filtro. Esta etapa (b1) corresponde a la fase de desorción de los siloxanos por el filtro de tela de carbón activado. A diferencia de los filtros constituidos por polvo o gránulos de carbón activado, un filtro de tela de carbón activado es un buen conductor eléctrico. Por tanto, es posible hacer circular una corriente eléctrica en el filtro. Preferentemente, el filtro está conectado a dos electrodos y conectado a un generador eléctrico. Preferentemente, se aplica al filtro una corriente eléctrica continua. La circulación de la corriente eléctrica en el filtro genera calor por el efecto Joule.

40 Simultáneamente al paso de corriente eléctrica, el filtro se somete a un flujo de gas de barrido. Para ello, se envía una corriente gaseosa de barrido a una de las caras del filtro. El gas de barrido se selecciona preferentemente entre el grupo constituido por aire, aire empobrecido, un gas inerte tal como nitrógeno o dióxido de carbono, metano o un biogás ya tratado. Más preferentemente, el gas de barrido es aire. El paso de la corriente de gas de barrido durante la etapa (b1) se puede realizar en el sentido de la corriente o a contracorriente con respecto al paso del biogás durante la etapa (a). El propio gas de barrido se puede calentar para mantener o acelerar el calentamiento del filtro. Si el gas no se calienta, su caudal se optimiza para no enfriar el filtro.

45 Opcionalmente, el método de tratamiento comprende también una etapa de destrucción térmica (b2) del gas de barrido usado en la etapa (b1). La destrucción del gas de barrido, debido a su bajo caudal, se puede realizar mediante un quemador de gas muy pobre, que requiere solamente entre un 1 y un 10 % en volumen de metano, preferentemente entre un 1 y un 6 % y, aún más preferentemente, entre un 1 y un 3 %, para un funcionamiento autotérmico.

50 En el caso de una regeneración del filtro mediante calentamiento indirecto con aire caliente, tal como se lleva a cabo convencionalmente, son necesarios caudales de aire caliente de 100-500 m³/h que pueden llegar hasta 1000 m³/h. La destrucción de este aire caliente requiere, por tanto, volúmenes mucho mayores de metanos, en particular mediante el uso de un quemador más convencional que consume aproximadamente de un 10 a un 15 % en volumen de metano. En el caso de la invención, la combinación de las etapas b1) y b2), por tanto, es económicamente muy ventajosa.

60 De acuerdo con otra posible realización, el gas de barrido también se puede destruir mediante un sistema de oxidación térmica regenerativo o no regenerativo. Las impurezas de tipo siloxano se oxidan preferentemente a temperaturas elevadas, normalmente de 800 a 850 °C o incluso más, durante un período de 1 a 2 segundos, antes de su liberación a la atmósfera.

65 A medida que el gas de barrido pasa a través del filtro calentado, se desorbe al menos una parte de los compuestos de siloxano adsorbidos en el filtro. La desorción se lleva a cabo preferentemente a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferentemente entre 150 °C y 300 °C y, aún más preferentemente, entre 200 °C y 300 °C. Además, la presión del gas de barrido durante la etapa de regeneración (b1) preferentemente está comprendida

entre 0 bar y 1 bar, más preferentemente entre 0 bar y 0,5 bar y, aún más preferentemente, entre 0 bar y 0,2 bar (en presión relativa, por diferencia con la presión atmosférica).

5 Los inventores han constatado que la regeneración de un filtro de tela de carbón activado mediante la acción combinada de un calentamiento por el efecto Joule y de un barrido con gas permitía una desorción eficaz de los compuestos que contaminan el filtro con un menor gasto de energía que los procedimientos conocidos de la técnica anterior. De hecho, el calentamiento por el efecto Joule es un método de calentamiento directo que consume menos energía que el calentamiento indirecto convencional mediante un flujo de barrido en caliente. Además, el filtro de tela de carbón activado es particularmente adecuado para esta técnica de calentamiento debido a su buena conducción eléctrica. Finalmente, el barrido con gas permite una eliminación más rápida de los compuestos desorbidos sin complicar el proceso y el dispositivo, a diferencia de las técnicas que utilizan aplicación de vacío. Al contrario de los procedimientos de la técnica anterior, se puede usar de forma ventajosa aire como gas de barrido por razones de coste y simplicidad, sin riesgo de dañar el filtro de tela de carbón activado por la temperatura que es necesaria para la desorción de los compuestos de siloxano. Los filtros que utilizan una tela de carbón activado como material adsorbente tienen un tamaño significativamente menor en comparación con una solución convencional que usa carbón activado en gránulos. Esta reducción de tamaño se debe en particular a una mayor capacidad de adsorción. Además, las velocidades de adsorción y desorción de los filtros que utilizan una tela de carbón activado como material adsorbente son mayores que las de los filtros convencionales. Estas velocidades más elevadas contribuyen igualmente a una reducción de la cantidad de material requerido para tratar un flujo constante. Es posible disminuir el caudal del gas de barrido. El nuevo tratamiento o destrucción opcional de este gas es, por tanto, más sencillo. El tamaño general de los equipos se puede reducir, lo que puede reducir el costo de inversión. Otra ventaja del procedimiento de acuerdo con la invención es que no da lugar a un fenómeno de recombinaciones químicas de determinados silanos y/o siloxanos, es decir, en particular el trimetilsilanol (TMS) que se puede transformar en hexametildisiloxano (L2) por condensación. Estas recombinaciones pueden llevar a liberaciones significativas e impredecibles. La ausencia de estas recombinaciones permite aumentar significativamente la eficacia y la robustez del procedimiento de tratamiento del biogás de acuerdo con la invención.

La etapa de regeneración (b1) se continúa durante un tiempo denominado T_b . De acuerdo con un modo de realización, la etapa (b1) se detiene después de un tiempo definido previamente y que corresponde preferentemente a la regeneración máxima del filtro. De acuerdo con otro modo de realización, la concentración de siloxano se mide de forma continua en la corriente de gas de barrido recogida a la salida del filtro. La etapa (b1) se puede detener cuando la concentración de siloxano medida cae por debajo de un umbral previamente definido. El tiempo T_b de la etapa de regeneración es preferentemente inferior al tiempo T_a de la etapa de adsorción. El tiempo T_b está comprendido preferentemente entre 1 hora y 16 horas y, más preferentemente, entre 1 hora y 8 horas.

Al final de la etapa de regeneración (b1), el filtro se puede reutilizar en una nueva etapa de filtración (a). Sin embargo, de acuerdo con un modo de realización preferente de la invención, el procedimiento de tratamiento comprende también una etapa (c), después de la etapa (b1) y antes de una nueva etapa (a) opcional. Esta etapa (c) consiste en lavar el filtro sometiéndolo a una corriente de metano desprovista de siloxanos. De acuerdo con un modo de realización muy preferente, esta corriente de metano desprovista de siloxano, denominada también gas de lavado, puede ser biogás que se ha tratado previamente mediante el procedimiento de acuerdo con la invención. Sin embargo, es posible emplear otras fuentes de gas siempre que el gas sea rico en metano, o incluso que esté constituido por metano, y que no contenga siloxanos. Esta etapa de lavado (c) es particularmente útil en el caso en que el gas de barrido usado en la etapa (b1) es aire. Permite expulsar el aire presente en el filtro y reemplazarlo por metano. Así, cuando se reanuda una nueva etapa de filtración (a), el gas tratado obtenido al inicio de la filtración no está contaminado con residuos del gas de barrido, en particular aire. Además, durante esta etapa de lavado (c), el filtro se puede enfriar a una temperatura compatible con la etapa de adsorción (a).

El paso de la corriente del gas de lavado durante la etapa (c) se puede realizar en el sentido de la corriente o a contracorriente con respecto al paso del biogás durante la etapa (a) y en el sentido de la corriente o a contracorriente con respecto al paso del gas de barrido durante la etapa (b1).

La etapa de lavado (c) se continúa durante un tiempo denominado T_c . De acuerdo con un modo de realización, la etapa (c) se detiene después de un tiempo definido previamente. De acuerdo con otro modo de realización, la concentración de gas de barrido, por ejemplo de aire, se mide de forma continua en la corriente de gas recogida a la salida del filtro. La etapa (c) se puede detener cuando la concentración de gas de barrido medida cae por debajo de un umbral previamente definido. Como alternativa, o además, la temperatura del filtro se puede medir de forma continua. La etapa (c) se puede detener cuando la temperatura del filtro cae por debajo de un umbral definido previamente. El gas de barrido recuperado al final de la etapa (c) se puede destruir también, de la misma forma que el gas de barrido de la etapa (b2).

El procedimiento para tratar un biogás de acuerdo con la invención puede ser un procedimiento cíclico, comprendiendo cada ciclo una etapa de filtración (a), después una etapa de regeneración (b1) seguida opcionalmente de una etapa de lavado (c). Las etapas se pueden encadenar directamente una tras otra o se pueden prever tiempos de parada entre etapas. Puesto que un procedimiento cíclico no puede tratar un flujo continuo de gas entrante, es posible utilizar varios dispositivos de tratamiento que funcionen en paralelo, estando al menos un

dispositivo en la fase de filtración cuando otro dispositivo está en la fase de regeneración o de lavado o está parado.

De acuerdo con un modo de una realización particular, el procedimiento de tratamiento se puede implementar en una unidad que dispone de dos dispositivos de tratamiento en paralelo. Se puede efectuar una etapa de filtración (a) en el primer dispositivo de tratamiento. Después de una duración T_a , la etapa de filtración (a) se detiene en el primer dispositivo y comienza en el segundo dispositivo de tratamiento. A lo largo de la duración de la etapa de filtración en el segundo dispositivo, el primer dispositivo se somete a la etapa de regeneración (b1) durante un tiempo T_b , después, opcionalmente a la etapa de lavado (c) durante un tiempo T_c . Si al final de la etapa de regeneración (b1) u, opcionalmente, de la etapa de lavado (c), la etapa de filtración (a) en el segundo dispositivo no ha terminado, el primer dispositivo se detiene. Finalmente, cuando la etapa de filtración (a) ha terminado en el segundo dispositivo, comienza de nuevo en el primer dispositivo, y el segundo dispositivo, a su vez, puede ser regenerado.

La invención describe igualmente un dispositivo destinado a implementar el procedimiento descrito anteriormente. Este dispositivo de tratamiento de un biogás que contiene siloxanos comprende:

- una cámara de filtración provista de al menos un primer orificio que permite la entrada de gas y al menos un segundo orificio que permite la salida de gas;
- un filtro de tela de carbón activado colocado en dicha cámara de filtración y conectado a dos electrodos;
- un medio para hacer circular una corriente eléctrica en dicho filtro de tela de carbón activado conectado a dichos dos electrodos;
- un medio para inyectar el gas de barrido en la cámara de filtración,
- y, opcionalmente, un medio que permite destruir el gas de barrido que sale de la cámara de filtración.

La cámara de filtración y los elementos que se encuentran en su interior están contruidos preferentemente con materiales resistentes a las temperaturas más altas utilizadas en particular durante la etapa de regeneración (b1). No es necesario que estas instalaciones estén previstas para una aplicación de vacío. La geometría y el dimensionamiento de la cámara de filtración pueden variar específicamente en función del caudal de biogás por tratar y de la concentración de siloxanos por eliminar. Preferentemente, la cámara de filtración es cilíndrica. Este tipo de geometría es ventajoso porque permite obtener flujos de gas homogéneos en el conjunto del filtro.

La cámara de filtración está provista de al menos un primer orificio que permite la entrada de gas. Según la etapa del procedimiento de tratamiento implementada, la naturaleza del gas que entra a la cámara varía: biogás durante la etapa (a), gas de barrido en la etapa (b1) y, opcionalmente, gas de lavado en la etapa (c). Pueden entrar por el mismo orificio conectado a varios conductos de alimentación provistas de válvulas. Como alternativa, cada conducto de alimentación de gas puede desembocar en su propio orificio en la cámara de filtración. Además, un orificio de entrada para un gas puede ser un orificio de salida para otro y viceversa.

La cámara de filtración también está provista de al menos un segundo orificio que permite la salida del gas. Según la etapa del procedimiento de tratamiento implementada, la naturaleza del gas que sale de la cámara varía: biogás tratado durante la etapa (a), gas de barrido en la etapa (b1) y, opcionalmente, gas de lavado en la etapa (c). Pueden salir por el mismo orificio conectado a varios conductos provistos de válvulas o por varios orificios diferentes. Muy preferentemente, el biogás tratado recuperado durante la etapa (a) se lleva a un dispositivo de almacenamiento aguas abajo, o a otro dispositivo de tratamiento, por ejemplo para eliminar el CO_2 para la producción de biometano o de biocombustible, o a un dispositivo que consume biogás como combustible, por ejemplo, motores de cogeneración que producen electricidad y calor. En la salida de la cámara de filtración, el dispositivo de tratamiento comprende opcionalmente un medio que permite destruir el gas de barrido recuperado durante la etapa (b1) y, opcionalmente, el gas de lavado recuperado durante la etapa (c), por ejemplo, una antorcha o un sistema de oxidación térmica regenerativo o no regenerativo.

La cámara de filtración contiene al menos un filtro de tela de carbón activado. La geometría, el dimensionamiento y el número de filtros colocados en una cámara de filtración pueden variar específicamente en función del caudal de biogás por tratar y de la concentración de compuestos de siloxano por eliminar. Cuando la cámara de filtración tiene geometría cilíndrica, el filtro se puede enrollar o plegar. Para permitir la implementación de la etapa de regeneración (b1) del procedimiento de tratamiento, el filtro se conecta a al menos dos electrodos y el dispositivo comprende un medio para hacer circular una corriente eléctrica en el filtro de tela de carbón activado conectado a dichos dos electrodos. Preferentemente, la geometría del filtro y el posicionamiento de los electrodos permiten un calentamiento homogéneo del filtro por el efecto Joule.

Finalmente, para permitir la implementación de la etapa de regeneración (b1) del procedimiento de tratamiento, el dispositivo comprende un medio que permite inyectar gas de barrido en la cámara de filtración. Este medio puede consistir, por ejemplo, en un soplador.

Dependiendo del caudal de biogás por tratar, el dispositivo de tratamiento puede comprender varias cámaras de filtración dispuestas en paralelo. Además, para asegurar el tratamiento continuo de un flujo de biogás, se pueden disponer en paralelo varios dispositivos de tratamiento, tales como los descritos anteriormente, a fin de constituir conjuntamente una unidad de tratamiento de funcionamiento continuo. Por tanto, la invención describe

también una unidad de tratamiento que comprende varios dispositivos de tratamiento, tales como los definidos anteriormente, dispuestos en paralelo para operar de forma continua.

La **figura 1** representa una unidad de tratamiento **1** que comprende dos dispositivos **2** y **2'** dispuestos en paralelo. Cada dispositivo **2** y **2'** comprende:

- una cámara de filtración **3, 3'** provista de al menos un primer orificio **4, 4'** que permite la entrada de gas y al menos un segundo orificio **5, 5'** que permite la salida de gas;
- un filtro de tela de carbón activado **6, 6'** colocado en dicha cámara de filtración **3, 3'** y conectado a dos electrodos **7, 7', 8, 8'**;
- un medio **9, 9'** para hacer circular una corriente eléctrica en dicho filtro **6, 6'** de tela de carbón activado conectado a dichos dos electrodos;
- un medio **10** para inyectar el gas de barrido en la cámara de filtración **3, 3'**.

Además, la unidad de tratamiento **1** está provista de un conducto de alimentación para el biogás por tratar **11**, un conducto de alimentación para el gas de barrido **12**, que es preferentemente aire, y un conducto de alimentación para el gas de lavado **13**, que es preferentemente, biogás previamente tratado en la unidad. Cada conducto de alimentación se divide para alimentar los dos dispositivos **2** y **2'** y las válvulas **16, 17, 18, 19, 20** y **21** se sitúan en los conductos de alimentación para seleccionar las corrientes de gas que se introducirán en los dos dispositivos. En la salida, la unidad de tratamiento **1** está provista de un conducto de salida para el biogás tratado **14** y de un conducto de salida para los demás efluentes gaseosos **15**, en particular el gas de barrido usado y el gas de lavado usado. Cada conducto de salida recoge los efluentes de los dos dispositivos **2** y **2'** y las válvulas **22, 23, 24** y **25** se sitúan en los conductos de salida.

Durante la implementación del proceso de tratamiento de biogás que es objeto de la invención, la unidad de tratamiento **1** se puede operar según el diagrama mostrado en la figura **2**: este representa la sucesión de ciclos de tratamiento en paralelo en los dispositivos **2** y **2'**. Las duraciones relativas de las etapas se dan únicamente a modo de ejemplo.

De acuerdo con la figura **2**, el dispositivo **2** comienza con una etapa de filtración (a). Para ello, las válvulas **16** y **22** se abren mientras que las válvulas **17, 18** y **23** se cierran. La cámara de filtración **3** se alimenta con biogás que llega a través del conducto **11**. Al pasar a través del filtro **6**, los compuestos de siloxano contaminantes son adsorbidos. El biogás tratado se recupera en la salida de la cámara **3** a través del conducto **14**. La etapa (a) se lleva a cabo durante un tiempo T_a .

Cuando la etapa (a) ha terminado, las válvulas **16** y **22** se cierran. El ciclo de tratamiento continúa inmediatamente con una etapa de regeneración (b1) del filtro **6**. Para ello, las válvulas **17** y **23** se abren. Se hace circular una corriente eléctrica continua en dicho filtro **6** conectado a los electrodos **7** y **8** por medio del generador de corriente **9**. Por el efecto Joule el filtro **6** se calienta. Se emplea un flujo de aire como gas de barrido. Este se introduce en la cámara de filtración **3** a través del conducto de alimentación **12** utilizando el soplador **10**. Debido al efecto del calentamiento y del barrido, los contaminantes de siloxano se desorben del filtro **6** y el gas de barrido utilizado es expulsado a través del conducto **15**. La etapa (b1) se lleva a cabo durante un tiempo T_b al final del cual se considera que el filtro **6** está regenerado.

Cuando termina la etapa (b1), la válvula **17** se cierra y la corriente eléctrica que pasa a través del filtro **6** se detiene. El ciclo de tratamiento continúa inmediatamente con una etapa de lavado (c) del filtro **6**. De hecho, al final de la etapa (b1), el filtro **6** y la cámara de filtración **3** contienen aire. Para evitar que entre aire en el biogás cuando el filtro **6** pasa de nuevo a una fase de filtración, es preferente evacuar el aire. Para ello, se abre la válvula **18**. Un flujo de biogás previamente tratado, procedente por ejemplo del conducto **14**, se introduce en la cámara de filtración **3** a través del conducto de alimentación **13**. El gas de lavado utilizado, que contiene aire, se expulsa a través del conducto **15**. La etapa (c) se lleva a cabo durante un tiempo T_c .

Al final de la etapa (c), las válvulas **18** y **23** se cierran. El dispositivo **2** está listo para volver a iniciar una etapa de filtración (a). En el ciclo descrito en la figura **2**, el dispositivo **2** se detiene durante un período de tiempo suficiente para que termine la etapa (a) en el dispositivo **2'**, es decir, durante un tiempo T_{parada} de modo que $T_{parada} = T_a - T_b - T_c$.

El dispositivo **2'** se opera de la misma manera que el dispositivo **2** utilizando las válvulas **19, 20, 21, 24** y **25**, pero con un desfase en el tiempo de las etapas. Así, cuando el dispositivo **2** comienza una etapa de filtración (a), el dispositivo **2'** comienza una etapa de regeneración (b1), y cuando el dispositivo **2** finaliza la etapa de filtración (a) para pasar a la etapa de regeneración (b1), es el dispositivo **2'** el que inicia una etapa de filtración (a). De esta forma, hay permanentemente uno de los dos dispositivos en la etapa de filtración (a), lo que permite asegurar un tratamiento continuo del biogás que llega a través del conducto de alimentación **11**.

Ejemplos

Ejemplo 1:

La tela de carbón activado utilizada es la comercializada por la empresa Carbon Cloth International con el nombre de Zorflex® Knitted Cloth FM30K.

5 Se cargaron muestras de tela de carbón activado previamente secadas en una estufa con compuestos de siloxano en un reactor estático. Para ello, el compuesto de siloxano deseado se introdujo en el reactor en forma líquida con el fin de saturar la atmósfera dentro del reactor. Las muestras se confinaron así durante 24 horas.

10 Se extrajeron aproximadamente 20 mg de tela cargada con siloxano y se introdujeron en un analizador termogravimétrico (SETSYS Evolution o TG-DSC 111 de Setaram). Cada muestra se sometió a un gradiente de temperatura de 10 °C por minuto entre 20 °C y 105 °C y luego a una meseta a 105 °C durante 30 minutos para desorber el agua contenida en los poros de la tela y, finalmente, a un gradiente de temperatura de 10 °C por minuto hasta 300 °C. La variación de la masa de la muestra se midió utilizando una microbalanza. La variación de la masa con el tiempo se estudió en función de la temperatura. La temperatura de desorción se toma a la velocidad máxima de desorción.

La tabla 1 siguiente muestra los resultados obtenidos para diferentes compuestos de siloxano:

Tabla 1

Siloxano	Punto de ebullición (°C)	Temperatura de la velocidad máxima de desorción (°C)	Velocidad de desorción (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)
Hexametildisiloxano	101	110	-7,9
Decametiltetrasiloxano	194	180	-4,2
Dodecametilpentasiloxano	230	200	-5,2
Octametilciclotetrasiloxano	175	170	-5,8
Decametilciclopentasiloxano	211	200	-5,3

20 Se constata que las temperaturas a las que la velocidad de desorción es mayor están comprendidas entre 110 °C y 200 °C. Las velocidades de desorción son todas del mismo orden de magnitud, comprendidas entre 4 mg.g⁻¹.min⁻¹ y 8 mg.g⁻¹.min⁻¹. Estos datos hacen posible diseñar y dimensionar el sistema de tratamiento.

25 **Ejemplo 2:**

Se modelizaron los flujos de gas dentro de una cámara de filtración cilíndrica equipada con un filtro enrollado con los parámetros siguientes:

- 30 - alimentación de biogás: 500 Nm³/h
 - superficie del paso de filtrado: 1,54 m².

La distribución de la velocidad de los flujos de gas se representa en la figura 3: el blanco corresponde a una velocidad de 0 m/s, después, cuanto mayor es la velocidad, más oscuro es el color, hasta el negro, que corresponde a una velocidad de 20 m/s.

En esta figura 3 se constata bien que las velocidades son homogéneas en todo el conjunto de la cámara de filtración.

40 **Ejemplo 3:**

El dispositivo de tratamiento comprende dos filtros en paralelo, siendo cada filtro un filtro circular con un diámetro de 30 centímetros y una longitud de 75 centímetros. Este filtro está constituido por 20 capas de tela de carbón activado Zorflex FM 30 K (Calgon Carbon).

45 El biogás tratado en este ejemplo procede de una planta de tratamiento de aguas residuales con un caudal de 500 Nm³/h y contiene siloxanos en una concentración de 100 mg/Nm³. La velocidad lineal del biogás para esta superficie del paso de filtrado es de 20 cm/s y las pérdidas de carga son de 0,4 kPa (4 mbar). La presión del biogás es de 0,1 bar (presión relativa).

50 La etapa de filtración (a) se lleva a cabo durante un tiempo Ta de una hora, a una temperatura de adsorción de 35 °C. La concentración de siloxanos en la salida del dispositivo de tratamiento es inferior a 0,1 mg/Nm³.

55 La etapa de regeneración (b1) se lleva a cabo durante un tiempo Tb de 15 minutos, a una temperatura de 250 °C. Como gas de barrido se emplea un flujo de aire a una presión de 5 kPa (0,05 bar) (presión relativa).

Ejemplo 4:

Este ejemplo describe la etapa opcional de destrucción térmica (b2) del gas de barrido en la salida de la cámara de filtración. Más precisamente, ilustra la diferencia en el consumo de biogás necesario para regenerar el filtro, es decir, para quemar el gas de barrido, entre un procedimiento de regeneración que utiliza un calentamiento por el efecto Joule combinado con un flujo de gas de barrido (caso de la presente invención), y un procedimiento de regeneración que utiliza solamente un flujo de aire caliente, sin efecto Joule.

- Regeneración mediante calentamiento por el efecto Joule combinado con un flujo de gas de barrido

El flujo de gas de barrido por eliminar procede de un ensayo de tratamiento de biogás de acuerdo con el ejemplo 3 anterior. A diferencia del ejemplo 3, el flujo de gas de barrido es un flujo de aire empobrecido (con aproximadamente un 10 % en volumen de oxígeno) que circula a un caudal de 25 m³/h. Este flujo es destruido después en la salida de la cámara de filtración por un quemador de gas muy pobre (tipo FLOX® de oxidación sin llama) que opera con un porcentaje de metano igual al 2,5 % en volumen. Dado que el biogás crudo contiene un 60 % de metano, el volumen de biogás crudo que se añadirá para el funcionamiento del quemador es de 1,1 m³/h. Durante un día, el filtro se regenera 12 veces con un tiempo de regeneración de 30 minutos. El consumo total de biogás para la regeneración es, por tanto, de 6,4 m³/día.

- Regeneración mediante flujo de aire caliente solamente

Un proceso de regeneración que utiliza aire caliente solamente requiere un caudal de regeneración de 250 m³/h. El flujo de aire caliente es destruido después por un quemador de gas pobre que opera con un porcentaje de metano igual al 12,5 % en volumen. Dado que el biogás crudo contiene un 60 % de metano, el volumen de biogás crudo que se añadirá para el funcionamiento del quemador es de 59,5 m³/h. Durante un día, el filtro se regenera una sola vez con un tiempo de regeneración de 2,5 horas. El consumo total de biogás para la regeneración es, por tanto, de 148,8 m³/día.

Por tanto, el consumo diario de biogás se reduce en un factor de 23, lo que representa una ventaja económica nada despreciable para el usuario.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento de un biogás que contiene siloxanos, **caracterizado por que** comprende las etapas que consisten en:

- 5
- a) filtrar un flujo de biogás que contiene siloxanos con un filtro de tela de carbón activado a fin de adsorber siloxanos en dicho filtro, después
 - b1) regenerar dicho filtro haciendo circular una corriente eléctrica en dicho filtro sometido a un flujo de gas de barrido, después
 - 10 b2) opcionalmente, destruir térmicamente dicho gas de barrido,

la etapa de regeneración (b1) se lleva a cabo preferentemente a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, más preferentemente entre 150 °C y 300 °C y, aún más preferentemente, entre 200 °C y 300 °C.

15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la concentración de siloxano se mide de forma continua en la corriente de gas recogida a la salida del filtro durante la etapa (a) y por que la etapa (a) se detiene cuando la concentración de siloxano medida supera un umbral previamente definido, preferentemente de aproximadamente 5 mg/Nm³, más preferentemente de aproximadamente 3 mg/Nm³ y, aún más preferentemente, de aproximadamente 1 mg/Nm³.

20 3. Procedimiento de acuerdo con una u otra de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado por que** el gas de barrido durante la etapa (b1) es aire.

25 4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la presión relativa del gas de barrido durante la etapa (b1) está comprendida entre 0 bar y 1 bar, más preferentemente entre 0 bar y 0,5 bar y, aún más preferentemente, entre 0 bar y 0,2 bar.

30 5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el procedimiento de tratamiento comprende también una etapa (c) que consiste en lavar el filtro sometiéndolo a una corriente de metano desprovista de siloxanos.

35 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** dicha corriente de metano desprovista de siloxanos es biogás que se ha tratado previamente mediante el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

7. Procedimiento de acuerdo con una u otra de las reivindicaciones 5 y 6, **caracterizado por que**, durante la etapa (c), la concentración de gas de barrido se mide de forma continua en la corriente de gas recogida a la salida del filtro y la temperatura del filtro se mide de forma continua y por que la etapa (c) se detiene cuando:

- 40
- la concentración de gas de barrido medida cae por debajo de un umbral previamente definido y
 - la temperatura del filtro cae por debajo de un umbral definido previamente.

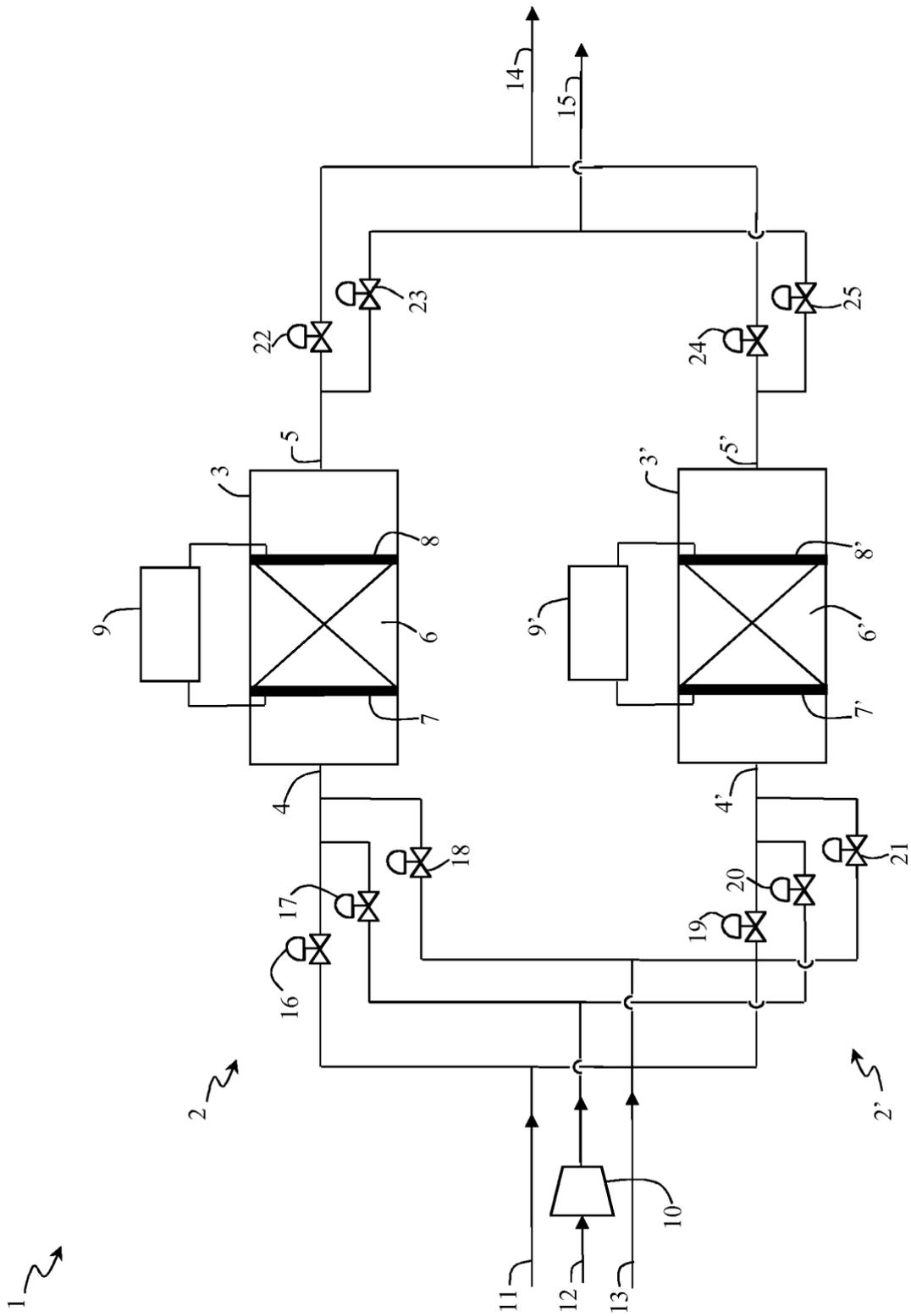


FIGURA 1

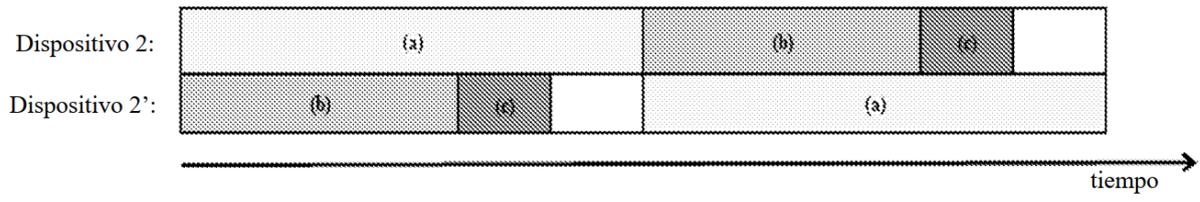


FIGURA 2

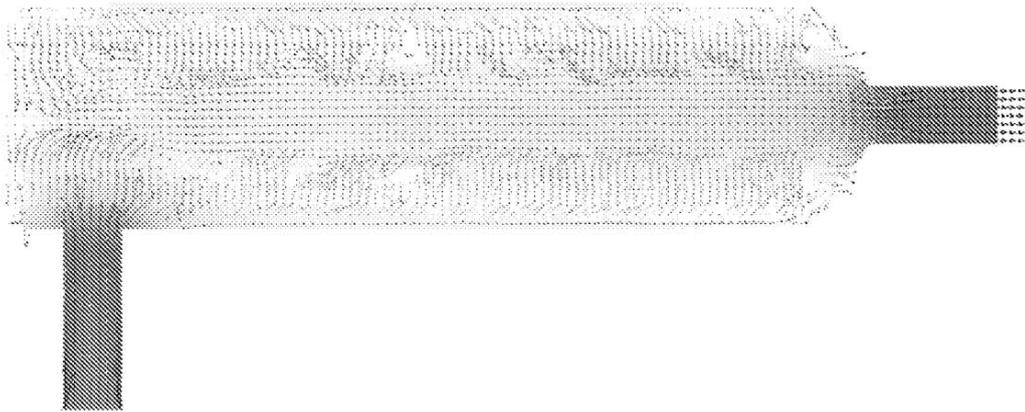


FIGURA 3