

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 731**

51 Int. Cl.:
B01D 53/34 (2006.01)
B01D 53/00 (2006.01)
G05D 21/02 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)
B01D 53/86 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05779053 .7**
96 Fecha de presentación: **03.08.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1782134**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.05.2007**

54 Título: **Optimizado control de la contaminación del aire**

30 Prioridad:
27.08.2004 US 927229

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.11.2012

73 Titular/es:
**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
BROWN BOVERI STRASSE 7
5400 BADEN, CH**

72 Inventor/es:
**BOYDEN, SCOTT A. y
PICHE, STEPHEN**

74 Agente/Representante:
COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 2 391 731 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).

DESCRIPCION

Optimizado control de la contaminación del aire

5 **Campo de aplicación**

(0001) La presente invención se refiere, de forma general, a un control de procesos. Sin embargo, esta invención se refiere, más concretamente, a las técnicas encaminadas a perfeccionar el control de procesos como aquellos procesos que son empleados para el control de la contaminación del aire. Los ejemplos de tales procesos incluyen, aunque no de una manera limitada, la desulfuración del gas de combustión, tanto en seco como en húmedo (WFGD/DFGD); la eliminación del óxido de nitrógeno a través de una selectiva reducción catalítica (SCR); así como la eliminación de partículas a través de una precipitación electrostática (ESP).

15 **Fundamentos de la invención**

(0002) Tal como mencionado, existen varios procesos para el control de la contaminación del aire para constituir la base para una discusión, y entre estos procesos será puesto de relieve aquí el proceso de la WFGD ó desulfuración del gas de combustión húmedo. Este proceso WFGD representa el proceso que normalmente es más en uso para la eliminación del dióxido de azufre SO₂ del gas de combustión en la industria de la generación de energía. La Figura 1 muestra un diagrama de bloques, representando una visión de conjunto de un subsistema para la desulfuración de un gas de combustión húmedo (WFGD), tanto para la eliminación del SO₂ de un gas de combustión sucio - como, por ejemplo, el gas producido por los sistemas de generación de energía, alimentados con un combustible fósil como, por ejemplo con carbón - como para la producción de un subproducto de tipo comercial como, por ejemplo, un producto con atributos que permitan que del mismo se pueda disponer a unos reducidos costos de obtención, ó bien un producto con los atributos de poder ser vendido en el mercado.

(0003) En los Estados Unidos de América, el preferido subproducto de una desulfuración de tipo WFGD es actualmente el yeso de clase comercial, con una calidad relativamente alta (pureza más del 95+%) y apropiado para su uso en las placas de fibras de paredes que son empleadas en la construcción de residencias y oficinas. El yeso de tipo comercial y de alta calidad (menos del ~92%) también constituye el actualmente preferido subproducto de la desulfuración WFGD en la Unión Europea y en Asia, pero este producto es normalmente previsto para su empleo en cemento y en fertilizantes. Sin embargo, al presentarse en el mercado una reducción en la demanda por yeso de superior calidad, la calidad del yeso de tipo comercial, producido como un subproducto de la desulfuración WFGD, podría ser reducida para así cumplir con las especificaciones necesarias para un abandono a un costo mínimo, las cuales exigen una menor calidad. En relación con ello, los costos de un abandono pueden ser reducidos a un mínimo, siempre que la calidad del yeso sea la apropiada, por ejemplo, ó bien para el relleno de unos terrenos residenciales ó para reacondicionar las zonas degradadas, de las cuales había sido extraído el carbón que luego es empleado para la generación de energía.

(0004) Tal como indicado en la Figura 1, el gas de combustión sucio 112, cargado del dióxido de azufre SO₂, es despedido desde una caldera ó desde un recuperador térmico (no indicados aquí) de un sistema de generación de energía, con combustión de carbón, hacia el sistema de control de contaminación del aire (APC) 120. Por regla general, el gas de combustión sucio 112, que entra en el sistema de control de contaminación APC 120, no solamente está cargado del SO₂, sino el mismo puede contener también otros contaminantes como, por ejemplo, el óxido de nitrógeno NO_x así como otras partículas. Antes de ser procesado por el subsistema de desulfuración de WFGD, el gas de combustión sucio 112, que entra en el control de contaminación de aire APC 120, es dirigido, en primer lugar, hacia otros subsistemas APC 122 con el fin de eliminar del gas de combustión sucio 112 el NO_x y las otras partículas. A título de ejemplo, este gas de combustión sucio puede ser procesado por medio de un subsistema (no indicado aquí) de una selectiva reducción catalítica (SCR) para eliminar el NO_x así como por medio de un subsistema (EPS) de una precipitación electrostática (no indicada aquí) ó a través de un filtro (no indicado aquí) para la eliminación de partículas.

(0005) El gas de combustión 114, cargado del SO₂ y despedido desde otros subsistemas APC 122, es dirigido hacia el subsistema de WFGD 130. El gas de combustión 114, cargado del SO₂, es procesado en la torre de absorción 132. Tal como esto es sabido por las personas familiarizadas con este ramo técnico, el dióxido de azufre SO₂ dentro del gas de combustión 114 tiene una elevada concentración de ácido. Por consiguiente, la torre de absorción 132 es operativa para poner el gas de combustión 114, cargado del SO₂, en contacto con un lodo líquido 148 que tiene un mayor valor pH que el gas de combustión 114.

(0006) Ha de ser reconocido que la mayoría de los subsistemas convencionales de la WFGD comprenden una unidad de procesamiento de WFGD del tipo indicado en la Figura 1. Esto es así por muchas razones. A título de ejemplo, y tal como esto es conocido en la práctica, las unidades de procesamiento de WFGD, que comprenden las torres de absorción mediante pulverizadores, tienen ciertas características de procesamiento convenientes para los procesos de WFGD. Sin embargo, las unidades de procesamiento de WFGD, en su configuración con otros equipos de absorción/oxidación, pueden ser empleadas, dado el caso, en lugar de la unidad de procesamiento representada en la Figura 1, y las mismas pueden proporcionar, no obstante, una similar funcionalidad para la desulfuración del gas de combustión y pueden conseguir unas ventajas similares a las avanzadas mejoras en el control de proceso, presentadas en la presente solicitud. En aras de una mayor claridad y brevedad, esta

descripción hace referencia a la conocida torre de pulverización, indicada en la Figura 1; sin embargo, ha de ser tenido en cuenta que los conceptos aquí presentados también podrían ser aplicados para otras configuraciones de la desulfuración WFGD.

5 (0007) Durante el procesamiento dentro de la torre de absorción en contracorriente 132, el SO₂ dentro del gas recombustión 114 entrará en reacción con el lodo 148, que es rico en carbonato cálcico (piedra caliza y agua), para formar el sulfito de calcio que es básicamente una sal y para eliminar, de este modo, el SO₂ del gas de combustión 114. El gas de combustión 116, limpiado del SO₂, es despedido de la torre de absorción 132 ó hacia una chimenea de salida 117 ó hacia un equipo de procesamiento de evaporación (no indicado aquí). El resultante lodo transformado 144 es pasado hacia un cristizador 134 dentro del cual es cristalizada la sal. El cristizador 134 y el
10 absorbedor 132 están dispuestos normalmente dentro de una misma torre y sin ninguna separación física entre los mismos y, al tener lugar al mismo tiempo dos funciones distintas (la absorción dentro de la fase gaseosa y la cristalización dentro de la fase líquida), estas funciones son realizadas dentro de un mismo recipiente de proceso. Aquí, el lodo de yeso 146, que comprende la sal cristalizada, es dirigido desde el cristizador 134 hacia la unidad de drenaje 136. Adicionalmente, el lodo de reciclaje 148, que puede incluir ó no incluir la misma concentración de las sales cristalizadas como el lodo de yeso 146, es dirigido desde el cristizador 134 a través de las bombas 133 y en retorno hacia la torre de absorción 132 para continuar con el ciclo de absorción.

20 (0008) El ventilador 150 somete el aire ambiental 152 a una presión para así proporcionar el aire de oxidación 154 para el cristizador 134. Este aire de oxidación 154 es mezclado con el lodo dentro del cristizador 134 a los efectos de hacer oxidar el sulfito de calcio en sulfato de calcio. Cada molécula del sulfato de calcio liga con dos moléculas de agua para formar un compuesto que normalmente se conoce como yeso 160. Tal como indicado, el yeso 160 es eliminado de la unidad de procesamiento de WFGD 130 para ser vendido, por ejemplo, a los fabricantes de placas de fibras para paredes.

25 (0009) El agua, recuperada de la unidad de drenaje 136, es dirigida hacia la unidad de mezclador/bomba 140 en la que el agua es combinada con la piedra caliza, recién triturada y procedente del triturador 170, para formar el lodo de piedra caliza. Teniendo en cuenta que algo del agua del proceso se pierde, tanto en el yeso 160 como en la corriente de desperdicios 169, agua fresca adicional 162, procedente de una fuente de agua fresca 164, es añadida para mantener la densidad del lodo de piedra caliza. Desperdicios adicionales como, por ejemplo, cenizas son eliminados de la unidad de procesamiento de WFGD 130 a través de la corriente de desperdicios 169. Los desperdicios pueden ser dirigidos, por ejemplo, hacia un embalse de cenizas ó los mismos pueden ser abandonados de otra manera.

35 (0010) Como resumen, el SO₂ dentro del gas de combustión 114, cargado del SO₂, es absorbido por el lodo 148 dentro de la zona de contacto de lodo de la torre de absorción 132 para luego ser cristalizado y oxidado dentro del cristizador 134 y ser deshidratado dentro de la unidad de drenaje 136 para constituir así el deseado subproducto que, en este ejemplo, es un yeso de tipo comercial 160. El gas de combustión 114, cargado del SO₂, pasa por la torre de absorción 132 en cuestión de segundos. Una completa cristalización de la sal dentro del transformado lodo 144 y por parte del cristizador 134 puede necesitar desde 8 hasta más de 20 horas. Por consiguiente, el
40 cristizador es de gran volumen y el mismo sirve como depósito para el lodo de cristalización. El lodo reciclado 148 es bombeado en retorno hacia la parte superior del absorbedor con el fin de recuperar un adicional SO₂.

45 (0011) Tal como indicado, el lodo 146 es aportado a una parte superior de la torre de absorción 132. Esta torre 132 lleva incorporados normalmente múltiples niveles de toberas pulverizadoras para introducir el lodo 148 en la torre 132. El absorbedor 132 trabaja según una configuración de contracorriente, y el lodo pulverizado desciende dentro del absorbedor para entrar en contacto con el gas de combustión 114, que está cargado de SO₂ y que fluye hacia arriba, después de haber sido aportado a una parte inferior de la torre de absorción.

50 (0012) La piedra caliza fresca 172, procedente de la fuente de piedra caliza 176, es triturada en primer lugar dentro del triturador 170 (normalmente se trata de un molino a bolas) para luego ser mezclada con agua recuperada 167 y con agua fresca preparada 162 dentro de un mezclador 140 con el fin de constituir el lodo de piedra caliza 141. El flujo de la triturada piedra caliza 174 y de agua 162 a través de la válvula 163 y hacia el mezclador/depósito 140 es controlado para mantener dentro del mezclador/depósito 140 una suficiente reserva de lodo de piedra caliza fresco
55 141. El flujo del lodo de piedra caliza fresco 141 hacia el cristizador 134 es regulado con el fin de mantener dentro del lodo 148 un apropiado valor pH que controla, a su vez, la cantidad del SO₂ que es eliminado del gas de combustión 114. La desulfuración de WFGD lleva a efecto, por regla general, una eliminación del 92 hasta el 97 % de SO₂ del gas de combustión, si bien las personas familiarizadas con este ramo técnico podrán apreciar que, por la aplicación de determinadas técnicas y por la adición de ácidos orgánicos, esta eliminación del SO₂ puede ser incrementada hasta más allá del 97 %.

60 (0013) Tal como mencionado anteriormente, el lodo es reciclado dentro de convencionales subsistemas de desulfuración WFGD. Si bien en la producción del yeso se producen normalmente algo de agua de desperdicio así como otros desperdicios, el agua es controlada en la medida de lo posible en su empleo para preparar el lodo de piedra caliza fresco, con lo cual se reducen al mínimo tanto los desperdicios como los costos, que se producirían para la preparación de un agua de procesos.

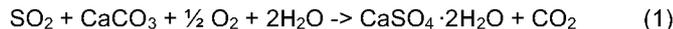
(0014) Se tendrá que admitir que, debido a que la piedra caliza es fácilmente disponible en grandes cantidades y

en muchos lugares, la misma es empleada normalmente como un agente reactivo en el procesamiento de desulfuración del gas de carbón. No obstante, como alternativa también pueden ser empleados, en lugar de la piedra caliza, otros agentes reactivos como, por ejemplo, la cal viva ó un compuesto de sodio. Estos otros agentes reactivos son, por lo general, más caros y no son efectivamente competidores, en cuanto a los costos, con el agente reactivo de piedra caliza. Sin embargo, con unas muy ligeras modificaciones en el mezclador 140 y en la fuente de agente reactivo, situada corriente arriba, una existente desulfuración de WFGD podría ser operada con el empleo de cal viva ó de un compuesto de sodio. De hecho es así que la mayoría de los sistemas de WFGD comprenden un subsistema de soporte de cal, de tal manera que la desulfuración WFGD podría ser efectuada al presentarse problemas en la entrega de la piedra caliza y/ó unas mayores dificultades con el triturador 170.

(0015) La Figura 2 muestra más detalles sobre algunos aspectos del subsistema de la desulfuración WFGD, indicada en la Figura 1. Tal como indicado, la unidad de drenaje 136 puede incluir tanto una unidad de drenaje primario 136A como una unidad de drenaje secundario 136B. La unidad de drenaje primario 136A comprende preferentemente unos hidrociclones para separar el yeso del agua. La unidad de drenaje secundario 136B comprende con preferencia una cinta de secado para secar el yeso. Tal como mencionado anteriormente, el gas de combustión 114 entra en el absorbedor 132 normalmente desde un lado, y el mismo asciende a través de la niebla del lodo de piedra caliza que está siendo pulverizado dentro de la parte superior de la torre de absorción. Antes de salirse del absorbedor, el gas de combustión se hace pasar por un eliminador de niebla ME (no indicado aquí) que se encuentra ubicado en la parte superior del absorbedor 132; este eliminador de niebla ME elimina las partículas sólidas y el líquido que son arrastrados por la corriente de gas de combustión. Para mantener el eliminador de niebla limpio de partículas sólidas es aplicado sobre el mismo un lavado de agua ME 200. Se comprenderá que este lavado ME 200 mantiene el eliminador de niebla ME limpio dentro de la torre de absorción 132 con el agua procedente de la fuente de agua fresca 164. El agua del lavado ME 200 es el agua más limpia que está siendo aportada al subsistema de desulfuración WFGD 130.

(0016) Como ya mencionado anteriormente, la niebla del lodo de piedra caliza absorbe un elevado porcentaje (por ejemplo, del 92 hasta el 97 %) del SO₂ del gas de combustión que pasa a través de la torre de absorción 132. Una vez absorbido el SO₂, el lodo pulverizado cae hacia el cristizador 134. Según una implementación práctica, la torre de absorción 132 y el cristizador 134 se encuentran alojados muchas veces en una sola estructura, estando la torre de absorción situada directamente por encima del cristizador dentro de esta estructura. En las implementaciones de este tipo, el lodo pulverizado puede caer simplemente sobre el fondo de esta estructura unitaria para así ser cristalizado.

(0017) El lodo de piedra caliza entra en reacción con el SO₂ para producir el yeso (sulfato de calcio deshidratado) dentro del cristizador 134. Según lo anteriormente indicado, un aire forzado y comprimido de oxidación 154 es empleado como ayuda a la oxidación que tiene lugar según la siguiente reacción:



El aire de oxidación 154 es forzado hacia el interior del cristizador 134 por el ventilador 150. Este aire de oxidación proporciona el oxígeno adicional que es necesario para la conversión del sulfito de calcio en sulfato de calcio.

(0018) La torre de absorción 132 es empleada para producir un contacto íntimo entre el gas de combustión y el lodo líquido; contacto éste que es necesario para conseguir las elevadas eficiencias en la eliminación, impuestas por las especificaciones del medio ambiente. Las torres de absorción, abiertas al lodo en contracorriente, proporcionan las particularmente deseadas características para un procesamiento de desulfuración de WFGD con piedra caliza y yeso; las mismas son intrínsecamente fiables; tienen un menor potencial de conexiones que otras partes componentes de las unidades de procesamiento de WFGD de unas bases inferiores; conducen a una menor caída de presión y son, además, más eficientes en cuanto a los costos, tanto bajo el aspecto de la inversión como bajo el punto de vista de los costos de operación.

(0019) Tal como indicado en la Figura 2, la fuente de agua 164 comprende normalmente un depósito de agua 164A para almacenar una suficiente cantidad de agua fresca. También están incluidas aquí, por regla general, una ó varias bombas 164B para someter a presión el lavado ME 200 en dirección hacia la torre de absorción 132, como asimismo comprende una ó varias bombas 164C para poner bajo presión el flujo de agua fresca 162 hacia el mezclador 140. El mezclador 140 comprende un depósito de mezcla 140A así como una ó varias bombas de lodo 140B para transportar el lodo de piedra caliza fresco 141 hacia el cristizador 134. Una ó varias bombas de lodo adicionales de gran tamaño 133 (Véase la Figura 1) son necesarias para elevar el lodo 148 desde el cristizador 134 hacia los múltiples niveles de toberas pulverizadoras en la parte superior de la torre de absorción 132.

(0020) Tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle, el lodo de piedra caliza 148 entra normalmente en la torre de absorción 132 a través de unas toberas de pulverización (no indicadas aquí), dispuestas a distintos niveles de la torre de absorción 132. Al encontrarse a plena carga, la mayoría de los subsistemas de WFGD trabajan con por lo menos una bomba de lodo de repuesto 133. A unas cargas menores, existe muchas veces la posibilidad de conseguir la necesaria eliminación del SO₂ con un más reducido número de bombas de lodo 133. Existen unos significativos incentivos de tipo económico para reducir el trabajo de las bombas de lodo 133. Estas bombas son unas de las bombas más grandes del mundo, y las mismas son impulsadas por electricidad que, de la

otra manera, podría ser vendida directamente a la red de energía eléctrica (se trata, por lo tanto, de una carga de energía parásita).

(0021) El yeso 160 es separado de los líquidos dentro del lodo de yeso 146 en la unidad de drenaje primario 136A, empleando para ello normalmente un hidrociclón. El rebosadero del hidrociclón y/o uno ó varios componentes de la unidad de drenaje primario 136A contienen una pequeña cantidad de partículas sólidas. Según lo indicado en la Figura 2, este lodo de rebosadero 146A es retornado al cristalizador 134. El agua recuperada 167 es retornada al mezclador 140 para preparar el lodo de piedra caliza fresco. Los otros desperdicios 168 son dirigidos normalmente desde la unidad de drenaje primario 136A hacia un embalse de cenizas 210. El lodo de corriente de fondo 202 es dirigido hacia la unidad de drenaje secundario 136B que muchas veces tiene la configuración de un filtro de cinta en el que este lodo es secado para producir el subproducto del yeso 160. El agua recuperada 167 de la unidad de drenaje secundario 136B es también aquí retornada al mezclador 140. Tal como indicado en la Figura 1, unas muestras de yeso 161, tomadas manualmente ó de otro tipo, son analizadas normalmente cada pocas horas para determinar la pureza del yeso 160. Según lo indicado en la Figura 1, un controlador de tipo proporcional, integral y de derivada (PID) 180 es empleado normalmente en conjunto con un controlador de avance de alimentación (FF) 190 para controlar el funcionamiento del subsistema de desulfuración WFGD. Anteriormente, los controladores PID dirigían unas funciones neumáticas y analógicas de control. Hoy en día, estos controladores dirigen unas funciones de control digital, empleando unas fórmulas matemáticas. El objetivo de los controladores FF 190 y PID 180 consiste en controlar el valor pH del lodo en base a una relación establecida. A título de ejemplo, podría haber una relación establecida entre la válvula de regulación 199, indicada en la Figura 1, y un medido valor pH del lodo 148 que fluye del cristalizador 134 hacia la torre de absorción 132. En este supuesto, la válvula 199 es controlada de tal manera que el valor pH del lodo 148 pueda corresponder a un valor deseado 186, al que muchas veces se hace también referencia como punto de ajuste (SP).

(0023) Los controladores FF 190 y PID 180 regularán el flujo del lodo de piedra caliza 144 a través de la válvula 190 en base al punto de ajuste del valor pH para aumentar ó reducir el valor pH del lodo 148, el cual es medido por el sensor de pH 182. Como es evidente, esto es llevado a efecto por los controladores FF/PID por transmitirse unas respectivas señales de control, 181 y 191 - que se convierten en una instrucción de ajuste para la válvula, la cual está representada como el control de flujo SP 196 - hacia un controlador de flujo que, de forma preferente, es parte integrante de la válvula 199. Como respuesta al control de flujo SP 196, el controlador de flujo efectúa, a su vez, una regulación de la válvula 199 con el fin de modificar el flujo del lodo de piedra caliza 141 desde el mezclador/bomba 140 hacia el cristalizador 134.

(0024) El presente ejemplo muestra el control del valor pH, empleando para ello la combinación entre el controlador FF 190 y el controlador PID 180. Puede ser que algunas plantas generadoras no comprendan el controlador FF 190.

(0025) Según el presente ejemplo, el controlador PID 180 genera la señal de control PID 181 por procesar el medido valor pH 183 del lodo, el que es recibido del sensor de pH 182, y esto de acuerdo con un algoritmo de control del flujo de la piedra caliza, el cual representa una relación establecida entre el medido valor pH 183 del lodo 148 que fluye del cristalizador 134 hacia la torre de absorción 132. Este algoritmo está normalmente guardado dentro del controlador PID 180, si bien esto no es obligatorio. La señal de control 181 puede representar, por ejemplo, un punto de ajuste de válvula (VSP) para la válvula 199 ó para un medido valor de punto de ajuste (MVSP) para el flujo del lodo de piedra caliza triturada 141, que sale de la válvula 199.

(0026) Tal como esto es bien sabido en la técnica, el algoritmo empleado por el controlador PID 180 comprende un elemento proporcional, un elemento integral y otro elemento de derivada. Este controlador PID 180 calcula, en primer lugar, la diferencia entre el deseado punto de ajuste SP y el valor medido con el fin de determinar un error. Seguidamente, el controlador PID aplica el error sobre el elemento proporcional del algoritmo, el cual es una constante regulable para el controlador PID ó para cada uno de los controladores PID si dentro del subsistema de WFGD es empleada una multitud de controladores PID. El controlador PID multiplica, por regla general, el error por un factor de sintonización ó por una ganancia de proceso para obtener una función proporcional para la regulación de la válvula 199.

(0027) Sin embargo, al no disponer el controlador PID 180 del correcto valor para el factor de sintonización ó para la ganancia de proceso ó al cambiar las condiciones para el proceso, la función proporcional será imprecisa. A causa de esta imprecisión, el valor de punto de ajuste VSP ó el medido valor de punto de ajuste MVSP, producidos por el controlador 180, tendrán efectivamente una desviación con respecto a lo que correspondería al deseado punto de ajuste SP. Por consiguiente, el controlador PID 180 aplica el error, acumulado con el tiempo, por emplear el elemento integral. Este elemento integral representa un factor de tiempo. También aquí es así que, para eliminar la desviación, el controlador PID 180 multiplica el error acumulado por un factor de sintonización ó por una ganancia de proceso.

(0028) Ahora nos fijamos en el elemento de derivada. Este elemento de derivada es un factor de aceleración, asociado a un cambio continuo. En la práctica, el elemento de derivada es aplicado raras veces en los controladores PID, empleados para el control de los procesos de desulfuración WFGD. Esto es debido a que la aplicación del elemento de derivada no resulta particularmente beneficiosa para este tipo de control. Por consiguiente, la mayoría de los controladores empleados en los subsistemas de WFGD son, efectivamente,

controladores de tipo PI. No obstante, las personas familiarizadas con este ramo técnico podrán reconocer que, en el caso de necesidad, un controlador PID 180 podría ser configurado fácilmente con la necesaria lógica para aplicar un elemento de derivada en la manera convencional.

5 (0029) Como resumen, existen tres constantes de sintonización que pueden ser aplicadas por los convencionales controladores PID para controlar un valor de proceso - como, por ejemplo, el valor pH del reciclado lodo 148 que entra en la torre de absorción 132 - para un punto de ajuste como, por ejemplo, del flujo de lodo de piedra caliza fresco 141 hacia el cristalizador 134. Cualquiera que sea el punto de ajuste empleado, el mismo es siempre establecido en base a un valor del proceso, y nunca en términos de un deseado resultado como, por ejemplo, un
10 valor del SO₂ remanente en el gas de combustión 116, despedido por la torre de absorción 132. Con otras palabras: El punto de ajuste queda determinado por las condiciones del proceso, y es necesario que el controlado valor de proceso pueda ser medido directamente con el fin de que el controlador PID esté en condiciones para controlarlo. Si bien la forma exacta del algoritmo puede variar de un vendedor de equipo a otro, el algoritmo básico de un control PID está en uso durante más de 75 años en las industrias de estos procesos.

15 (0030) Haciendo otra vez referencia a las Figuras 1 y 2, y en base a las instrucciones recibidas del controlador PID 180 y del controlador FF 190, el controlador de flujo produce una señal que hace que se abra ó se cierra la válvula 199, con lo cual se incrementa ó se reduce el flujo de lodo de piedra caliza triturada 141. El controlador de flujo continúa con el control del ajuste de la válvula 199 hasta que la misma esté abierta ó cerrada para coincidir con el
20 valor de punto de ajuste VSP ó hasta que el medido valor de la cantidad de lodo de piedra caliza 141, que fluye desde la válvula 199, pueda coincidir con el medido valor de punto de ajuste MVSP.

(0031) Según el convencional control de la desulfuración de WFGD anteriormente descrita, el cual es tomado como ejemplo, el valor pH del lodo 148 es controlado en base a un deseado punto de ajuste 186 para el valor pH.
25 Con el fin de efectuar el control, el controlador PID 180 recibe del sensor 182 un valor de proceso, es decir, el medido valor de pH 183 del lodo 148. El controlador PID 180 procesa este valor de proceso para generar unas instrucciones 181 para la válvula 199 con el fin de regular el flujo de piedra caliza fresca 141, que tiene un valor pH que es mayor que el valor pH del lodo 144 del cristalizador, el cual procede del mezclador/depósito 140, y para regular, de este modo, también el valor pH del lodo 148. Al tener las instrucciones 181 como resultado una mayor
30 abertura de la válvula 199, una mayor cantidad de lodo de piedra caliza 141 fluiría desde el mezclador 140 y hacia el interior del cristalizador 131, lo cual produce un incremento en el valor pH del lodo 148. Por el otro lado, al tener las instrucciones 181 como resultado un cierre de la válvula 199, una menor cantidad de lodo de piedra caliza 141 fluiría desde el mezclador 140 y, por consiguiente, hacia el interior del cristalizador 131, por lo cual se reduce el valor pH del lodo 148.

35 (0032) Adicionalmente, el subsistema de desulfuración WFGD puede tener incorporado un bucle de avance de alimentación que es implementado por emplear una unidad de avance de alimentación 190 con el fin de asegurar una operación estable. Tal como indicado en la Figura 1, el valor de concentración de SO₂ 189 dentro del gas recombustión 114, que entra en la torre de absorción 132, es medido por el sensor 188, y este valor es pasado a la
40 unidad de avance de alimentación 190. Muchos sistemas de WFGD, que comprenden un elemento de control FF, pueden combinar la concentración 189 del SO₂ del gas de combustión entrante con la medida de una carga de generador procedente del sistema de Generación de energía 110 para determinar la cantidad de entrada del SO₂, en lugar de solamente la concentración, para luego emplear esta cantidad de entrada del SO₂ como un dato de entrada para la unidad de avance de alimentación FF 190. Esta unidad de avance de alimentación sirve como un
45 elemento proporcional con una dilación de tiempo.

(0033) Según la forma de realización, aquí descrita a título de ejemplo, la unidad de avance realimentación 190 recibe del sensor 188 una secuencia de medidas 189 del SO₂. La unidad de avance de alimentación 190 compara los efectivamente recibidos valores de concentración con los valores de concentración recibidos de forma
50 inmediatamente anterior a los últimos valores de concentración. Al ser determinado por la unidad de avance de alimentación 190 que se ha producido un cambio en las medidas concentraciones del SO₂ como, por ejemplo, de 1.000 hasta 1.200 partes de millón, la misma queda configurada con la lógica para suavizar la función de escalonamiento, con lo cual es impedido un cambio abrupto en las operaciones.

55 (0034) El bucle de avance de alimentación mejora de una manera drástica la estabilidad en las operaciones normales, teniendo en cuenta que es altamente no lineal la relación entre el valor pH del lodo 148 y la cantidad del lodo de piedra caliza 141 que fluye hacia el cristalizador 134 y, además, el controlador PID 180 es, efectivamente, un controlador lineal. Por consiguiente, sin el bucle de avance alimentación sería muy difícil que el PID 190 pueda proporcionar con las mismas constantes de sintonización un adecuado control por una amplia gama de valores pH.
60

(0035) Por controlar el valor pH del lodo 148, el controlador PID 180 lleva a efecto tanto la eliminación del SO₂ del gas de combustión 114, que está cargado del SO₂, como asimismo asegura la calidad del subproducto yeso 160, producido por el subsistema de desulfuración WFGD. Aumentando el valor pH del lodo por incrementar el flujo de
65 piedra caliza fresca 141 hace que se aumenta la cantidad de SO₂, eliminada del gas de combustión 114 cargado del SO₂. Por el otro lado, por incrementarse el flujo de piedra caliza 141 - y, por consiguiente, también el valor pH del lodo 148 - se reduce la oxidación del SO₂ después de la absorción y, por lo tanto, la transformación del sulfito de calcio en sulfato de calcio, lo cual tendrá como resultado, en cambio, una más baja calidad del yeso 160 que está siendo producido.

(0036) Por consiguiente, existen unos objetivos entre si conflictivos para el control de la eliminación de SO₂ del gas de combustión 114, que está cargado del SO₂, así como para el mantenimiento de la necesaria calidad del subproducto del yeso 160. Esto quiere decir que puede haber un conflicto en cuanto a la adaptación de los requisitos de la emisión del SO₂ a las necesidades de la calidad del yeso.

(0037) La Figura 3 muestra más detalles del subsistema de la desulfuración WFGD, descrito con referencia a las Figuras 1 y 2. Según lo indicado, el gas de combustión 114, que está cargado del SO₂, entra en la parte de fondo de la torre de absorción 132 a través de una abertura 310, y el gas de combustión 116, que está exento del SO₂, sale de la parte superior de la torre de absorción 132 a través de la abertura 312. En este ejemplo de una forma de realización convencional está indicada una torre de absorción de contracorriente, con una multitud de niveles de pulverización del lodo. Tal como indicado, el lavado ME 200 entra en la torre de absorción 132 y el mismo es dispersado por unos pulverizadores de lavado (no indicados aquí).

(0038) También está indicada en la torre de absorción una multitud de toberas de lodo 306A, 306B y 306C, cada una de ellas comprende un pulverizador de lodo 308A, 308B y 308C que pulverizan el lodo hacia dentro del gas de combustión para absorber aquí el SO₂. El lodo 148 es bombeado desde el cristizador 134, indicado en la Figura 1, por una multitud de bombas 133A, 133B y 133C, cada una de las cuales bombea el lodo hacia el respectivo nivel de las toberas de lodo 306A, 306B ó 306C. Es evidente que, si bien aquí se indican tres distintos niveles de toberas y de pulverizadores de lodo, el número de estas toberas y pulverizadores puede variar en función de la particular forma de realización.

(0039) La relación entre la cantidad de flujo del lodo líquido 148, que entra en el absorbedor 132, y la velocidad de flujo del gas de combustión 116, que sale del absorbedor 132, está caracterizada normalmente por la ratio L/G. L/G representa uno de los parámetros claves en el diseño de los subsistemas de desulfuración WFGD.

(0040) La velocidad de flujo del gas de combustión 116 (saturado de vapor), indicada aquí como "G", está en función de la entrada del gas de combustión 112, procedente del sistema de generación de energía 110, corriente arriba de la unidad de procesamiento de WFGD 130. Por consiguiente, "G" no está controlada - no puede serlo - sino tiene que ser averiguada dentro del procesamiento de WFGD. De este modo, y con el fin de impactar en L/G, "L" tiene que ser ajustada. El ajuste del número de bombas en funcionamiento así como la "alineación" entre estas bombas de lodo controlan la velocidad de flujo del lodo líquido 148 hacia la torre de absorción 132 de WFGD, lo cual está representado por "L". Por ejemplo, al estar funcionando solamente dos bombas, el funcionamiento de estas bombas en dirección hacia los dos niveles superiores de pulverizadores versus las bombas para los niveles superior e inferior de los pulverizadores producirá unas diferentes "L"s.

(0041) Existe la posibilidad de ajustar "L" por controlarse la operación de las bombas de lodo 133A, 133B y 133C. Las bombas individuales pueden ser conectadas ó desconectadas para regular la velocidad del flujo del lodo líquido 148 hacia la torre de absorción 132 así como para ajustar la altura efectiva a la cual el lodo líquido 148 es introducido en esta torre de absorción. Al ser el lodo introducido a mayor altura en la torre, tanto más tiempo de contacto tiene el mismo con el gas de combustión, lo cual resulta en una mayor eliminación del SO₂, pero esta adicional eliminación del SO₂ se produce a costa de un incrementado consumo de energía para bombear el lodo hacia un más elevado nivel de pulverización. Ha de ser reconocido que cuanto más elevado sea el número de las bombas, tanto mayor será complejidad de un tal control.

(0042) Las bombas 133A hasta 133C, que representan unas piezas extremadamente grandes de un equipo rotatorio, pueden ser conectadas y desconectadas de forma automática ó de manera manual. En la mayoría de los casos, estas bombas son controladas en los Estados Unidos de América de forma manual por el operador del subsistema. En Europa es más corriente automatizar el inicio y la parada de los equipos rotatorios como, por ejemplo, las bombas 133A hasta 133C.

(0043) Al ser la velocidad de flujo del gas de combustión 114, que entra en la unidad de procesamiento de WFGD, modificada a causa de un cambio en el funcionamiento del sistema de generación de energía 110, el operador del subsistema de WFGD puede regular la operación de una ó de varias bombas, 133A hasta 133C. Por ejemplo, al bajar la velocidad de flujo del gas de combustión al 50 % de la carga según el diseño, el operador ó una lógica especial dentro del sistema de control pueden parar una ó varias bombas que bombean el lodo hacia las toberas pulverizadoras en uno ó en varios niveles de pulverización.

(0044) Aunque esto no está indicado en la Figura 3, debe ser reconocido que unos adicionales niveles de pulverización - con las correspondientes bombas y toberas de lodo - están muchas veces previstos para ser empleados durante el trabajo de mantenimiento de otra bomba ó de otras toberas de lodo y/ó pulverizadores de lodo, asociados a los niveles de pulverización primarios. La adición de este suplementario nivel de pulverización hace aumentar los costos de inversión de la torre de absorción y, por lo tanto, del subsistema. Por consiguiente, algunos propietarios de sistemas de desulfuración WFGD piensan eliminar el suplementario nivel de pulverización con el fin de evitar los adicionales costos de capital y para añadir, en lugar de ello, unos ácidos orgánicos al lodo con el objeto de mejorar la capacidad del mismo para la absorción y, por lo tanto, eliminar el SO₂ del gas de combustión durante tales períodos de mantenimiento. Sin embargo, estos aditivos tienden a ser caros, por lo que el empleo de los mismos tendrá como resultado unos más elevados costos de operación que con el tiempo pueden consumir los ahorros en los costos de capital.

(0045) Tal como indicado más arriba en la ecuación 1, para absorber el SO₂ debe tener lugar una reacción química entre el SO₂ dentro del gas de combustión y la piedra caliza dentro del lodo. El resultado de la reacción química dentro del absorbedor consiste en la formación de sulfito de calcio. Dentro del cristalizador 134, el sulfito de calcio es oxidado para constituir el sulfato de calcio (yeso). Durante esta reacción química es consumido oxígeno. Con el fin de proporcionar el suficiente oxígeno y para incrementar la velocidad de la reacción, el adicional O₂ es añadido por introducir un aire comprimido 154 en el lodo líquido dentro del cristalizador 134.

(0046) Más concretamente, y tal como indicado en la Figura 1, el aire de ambiente 152 es comprimido para obtener el aire comprimido 154 que luego es forzado hacia el interior del cristalizador 134 por medio de un soplador como, por ejemplo, un ventilador 154 con el fin de hacer oxidar el sulfito de calcio dentro del lodo reciclado 148, que desde el cristalizador 134 es retornado al absorbedor 132, mientras que el lodo de yeso 146 es enviado hacia el sistema de drenaje 136 a efectos de su ulterior procesamiento. Para facilitar la regulación del flujo del aire de oxidación 154, el soplador ó ventilador 150 puede tener un mecanismo para controlar la velocidad ó la carga.

(0047) De forma preferente, el lodo dentro del cristalizador 134 ha de tener un exceso de oxígeno. Sin embargo, existe un límite superior para la cantidad de oxígeno que puede ser absorbida ó mantenida por el lodo. Al hacerse demasiado bajo el nivel de O₂ dentro del lodo, se para la oxidación química del CaSO₃ en CaSO₄ dentro del lodo. Al presentarse este fenómeno, se habla normalmente de una obstrucción por piedra caliza. Al tener lugar una tal obstrucción por piedra caliza, la piedra caliza para su disolución en la solución del lodo, y la eliminación del SO₂ puede ser reducida drásticamente. También la presencia de pequeñas cantidades ó de trazas de algunos minerales puede reducir drásticamente la oxidación del sulfito de calcio y/ó la disolución de la piedra caliza para así proporcionar la obstrucción por piedra caliza.

(0048) Teniendo en cuenta que la cantidad de oxígeno O₂, que es disuelto dentro del lodo, no representa un parámetro que puede ser medido, el lodo puede quedar "muerto por inanición" de O₂ en los convencionales subsistemas de WFGD si no se toman unas apropiadas precauciones. Este caso se puede presentar especialmente en los meses de verano, que es cuando una más alta temperatura del aire ambiental hace bajar la densidad del aire de ambiente 152 y reduce la cantidad de aire de oxidación 154 que puede ser forzado hacia el interior del cristalizador 134 por medio del ventilador 150 a la velocidad ó carga máximas. Además, al aumentar de manera significativa la cantidad de SO₂, que es eliminada del flujo del gas de combustión, se necesita una cantidad adicional de oxígeno O₂ para hacer oxidar el SO₂. Por consiguiente, el lodo puede, efectivamente, volverse muerto por inanición de O₂ a causa de un incremento en el flujo del SO₂ hacia la unidad de procesamiento WFGD.

(0049) Es necesario inyectar el aire comprimido 154 en una cantidad suficiente - dentro de las ratios del diseño - para hacer oxidar el SO₂ absorbido. Existe la posibilidad de regular la velocidad ó la carga del soplador 150 y de poner el soplador 150 a unas más reducidas cargas del SO₂, sobre todo en los períodos de una temperatura más baja del aire ambiental, esto es deseable ya que así se ahorra energía. Al alcanzar el soplador 150 su carga máxima, ó al estar consumido todo el oxígeno O₂ de un soplador 150, que no es regulable, no es posible hacer oxidar una cantidad de aumento del SO₂. A la carga punta - ó sin un control de la velocidad de un soplador 150, la cual determina exactamente la eliminación del SO₂ - es posible provocar una insuficiencia de O₂ dentro del cristalizador 134.

(0050) Sin embargo, dado que no es posible medir el O₂ dentro del lodo, el nivel de oxígeno dentro del lodo no puede ser empleado como una exigencia en las operaciones de los convencionales subsistemas de WFGD. Por consiguiente, no existe ninguna forma de un control correcto al volverse el lodo dentro del cristalizador 134 muerto por inanición de O₂. Por lo tanto, en el mejor de los casos asumirá el operador que el lodo se está muriendo por inanición de O₂ al presentarse una reducción notable en la calidad del subproducto de yeso 160, y el mismo emplea su mejor criterio para controlar la velocidad ó la carga del soplador 150 y/ó reduce la eficiencia en la eliminación del SO₂ para equilibrar el O₂ que está siendo forzado hacia el interior del lodo, con el SO₂ absorbido que ha de ser oxidado. De esta manera, en los subsistemas convencionales de la WFGD, el equilibrio del O₂, que está siendo forzado hacia el interior del lodo para que el SO₂ pueda ser absorbido del gas de combustión, está basado, en el mejor de los casos, solamente en el criterio de un operador.

(0051) Como resumen, el control convencional de grandes subsistemas de WFGD para las empresas de generación de energía es muchas veces llevado a efecto dentro de un distribuido sistema de control (DCS) y el mismo consiste, por regla general, en una lógica de control de conectado/desconectado así como en unos bucles de control de retroalimentación FF/PID. Los parámetros que se controlan están limitados al nivel del valor pH del lodo, a la relación L/G así como al flujo del aire forzado para la oxidación.

(0052) El valor pH tiene que ser mantenido dentro de una determinada gama para asegurar una elevada solubilidad del SO₂ (es decir, la eficiencia en la eliminación del SO₂); una alta calidad (pureza) del yeso; así como la prevención de la formación de incrustaciones. La gama del valor pH para el funcionamiento está en función del equipo y de las condiciones de la operación. El valor pH es controlado por regularse el flujo del lodo de piedra caliza fresco 141 hacia el cristalizador 134. La regulación del flujo de lodo de piedra caliza está basada en el medido valor pH del lodo, el cual es detectado por un sensor. Según una implementación típica es así que un controlador PID - y opcionalmente un controlador de tipo FF - están incluidos en el distribuido sistema de control DCS, y los mismos se encuentran puestos en cascada con respecto a un controlador del flujo del lodo de piedra caliza. El algoritmo normal ó de defecto del controlador PID es empleado para las aplicaciones de control del valor

pH.

5 (0053) La relación de líquido / gas (L/G) es la ratio entre el lodo líquido 148, que fluye hacia la torre de absorción 132, y el flujo de gas de combustión 114. Para un conjunto dado de variables del subsistema se requiere una relación mínima L/G para poder conseguir la deseada absorción del SO₂, la cual está basada en la solubilidad del SO₂ dentro del lodo líquido. Esta relación L/G cambia ó al modificarse el flujo del gas de combustión 114 ó al cambiar el flujo del lodo líquido 148 lo cual se produce, normalmente, al ser conectadas ó desconectadas las bombas 133 del lodo.

10 (0054) La oxidación del sulfito de calcio para formar el sulfato de calcio, es decir, el yeso queda mejorada por medio de una oxidación forzada, con un oxígeno adicional dentro del depósito de reacción del cristalizador 134. Este oxígeno adicional es introducido por soplarse aire hacia el interior de la solución de lodo dentro del cristalizador 134. Con una insuficiente oxidación, se puede presentar una obstrucción por piedra caliza, la cual tiene por efecto una más baja calidad del yeso y, por consiguiente, posiblemente una más reducida eficiencia en la eliminación del SO₂ así como una muy elevada demanda de oxígeno químico para el agua de desperdicio.

15 (0055) El convencional esquema de control del proceso de desulfuración WFGD se constituye de unos bloques de control normales con unos objetivos independientes, en lugar de objetivos integrados. Por regla general, el operador ha de intentar conseguir, tras consultar al equipo de ingenieros, un control óptimo del proceso en su conjunto. Para conseguir este control, el operador debe tener en consideración los distintos objetivos e imperativos.

20 (0056) Las plantas de generación de energía, con unos costos reducidos al mínimo para las operaciones de la desulfuración WFGD, no trabajan para otra razón que no sea la generación de beneficios para sus propietarios. Por consiguiente, es conveniente hacer operar el subsistema de WFGD al menor costo posible y respetando al mismo tiempo el proceso en si, las regulaciones para la emisión y las exigencias en cuanto a la calidad del subproducto, aparte del aspecto de la protección del medio ambiente.

25 (0057) Una máxima eficiencia en la eliminación del SO₂ y unas claras regulaciones del aire establecen las condiciones para la eliminación del SO₂. Los subsistemas de desulfuración de WFGD deben operar para eliminar el SO₂, tanto de manera eficaz como de forma apropiada a la vista del proceso, de las regulaciones de emisión, de las exigencias para la calidad del subproducto así como a la vista de las condiciones para el medio ambiente.

30 (0058) Cumplir las especificaciones de calidad del yeso. La venta de yeso como subproducto mitiga un tanto los costos de operación de la WFGD, y esta venta depende en gran medida de la consecución de una pureza del subproducto según una determinada especificación. Los subsistemas de desulfuración WFGD han de trabajar para producir un subproducto yeso de una calidad adecuada a la vista del proceso, de las regulaciones de emisión y de las exigencias en cuanto a la calidad del subproducto, al igual que con respecto a las condiciones para el medio ambiente.

35 (0059) Prevención de la obstrucción por piedra caliza. Las fluctuaciones en la carga y las variaciones en el contenido de azufre en el combustible pueden dar origen a fluctuaciones del SO₂ dentro del gas de combustión 114. Sin unas apropiadas regulaciones de compensación, esto puede conducir a unas elevadas concentraciones de sulfito dentro del lodo las que, a su vez, pueden tener por consecuencia una obstrucción por piedra caliza, una más reducida eficiencia en la eliminación del SO₂ en la torre de absorción 132, una más baja calidad del yeso así como una muy elevada demanda de oxígeno químico (COD) para el agua de desperdicio. A la vista de las exigencias para el proceso, los subsistemas de WFGD han de trabajar para prevenir una obstrucción por piedra caliza.

40 (0060) En una típica secuencia de operación, el operador del subsistema de WFGD determina los puntos de ajuste para el proceso de desulfuración WFGD con el fin de equilibrar estos objetivos, entre si competidores, y los imperativos sobre la base de convencionales procedimientos de operación y de sus conocimientos del proceso de WFGD. Estos puntos de ajuste comprenden normalmente el valor pH, el estado de funcionamiento de la bombas 133 para el lodo así como el soplador 150 para el aire de oxidación.

45 (0061) Existen unas complejas interacciones y dinámicas dentro del proceso de la WFGD y, por consiguiente, el operador selecciona usar unos parámetros de operación conservadores con el fin de que el subsistema de WFGD esté capacitado para cumplir ó incluso cumplir con exceso las duras condiciones de la eliminación del SO₂ y de la pureza del yeso. Al efectuar estas selecciones de tipo conservador, el operador sacrifica muchas veces, aunque no siempre, la operación a un costo mínimo.

50 (0062) La Figura 4 muestra, a título de ejemplo, la eficiencia en la eliminación del SO₂ y la pureza del yeso como una función del valor pH. Al ser aumentado el valor pH, se incrementa la eficiencia en la eliminación del SO₂, pero se reduce, sin embargo, la pureza del yeso. Teniendo en cuenta que el operador está interesado en incrementar tanto la eficiencia en la eliminación del SO₂ como la pureza del yeso, el mismo tiene que determinar los puntos de ajuste para el valor pH, los cuales han de constituir un compromiso entre estos objetivos que son competidores entre si.

(0063) Como añadidura, al operador se le exige, en la mayoría de los casos, cumplir con un garantizado nivel de pureza para el yeso como, por ejemplo, con una pureza del 95 %. Debido a la complejidad de las relaciones, representadas en la Figura 4; a la ausencia de una directa medición on-line de la pureza del yeso; a las dinámicas de la cristalización del yeso a largo plazo así como debido a unas variaciones aleatorias de las operaciones, el operador elige muchas veces introducir para el valor pH un punto de ajuste que ha de asegurar que el nivel de pureza del yeso sea, bajo cualquier circunstancia, más elevado que las exigencias especificadas para ello. Sin embargo, por garantizarse la pureza del yeso, el operador sacrifica muchas veces la eficiencia en la eliminación del SO₂. Por ejemplo, y en base al gráfico de la Figura 4, el operador puede seleccionar un valor pH de 5.4 para garantizar un cojín de seguridad del 1 % por encima de la exigencia de una pureza del yeso del 95 %. Al ser seleccionado este punto de ajuste para el valor pH, el operador sacrifica, sin embargo, un 3 % de la eficiencia en la eliminación del SO₂.

(0064) El operador se enfrenta a unos compromisos similares al bajar la carga de SO₂, es decir, el flujo 114 del gas de combustión, desde plena carga a una carga media. Durante esta transición, en algún punto puede ser conveniente desconectar una ó varias bombas de lodo 133 para ahorrar energía, teniendo en cuenta que una continuada operación de la bomba aporta una eficiencia en la eliminación del SO₂, pero la misma sería sólo ligeramente mayor. Sin embargo, dado que la relación entre los costos de energía y la eficiencia en la eliminación del SO₂ no es bien comprendida por la mayoría de los operadores, éstos últimos se deciden normalmente por una actuación de tipo conservador. Al aplicar una tal actuación, el operador puede ajustar las bombas de lodo 133 para toda una línea, aunque podría ser más conveniente desconectar una ó varias de estas bombas de lodo 133.

(0065) También es bien conocido que muchos permisos para la regulación de emisiones pueden contener tanto unos límites de emisión instantánea, como alguna forma de límites cambiantes para un promedio rotativo de emisiones. El límite de un cambiante promedio de emisión representa un límite para un promedio del valor de las emisiones instantáneas por una ventana de tiempo que es cambiante ó rotativa. Esta ventana de tiempo puede ser tan corta como una hora ó tan larga como un año. Algunas típicas ventanas de tiempo se refieren a una hora, a tres horas, a ocho horas, a veinticuatro horas, a un mes y a un año. Con el fin de permitir unas dinámicas desviaciones en el proceso, el límite de unas emisiones instantáneas es normalmente más alto que el límite para el promedio rotativo. Sin embargo, un continuado funcionamiento a un límite de emisiones instantáneas tendrá por resultado una violación de la cambiante limitación de un promedio de emisiones.

(0066) El controlador PID 180 controla, por regla general, las emisiones hasta el límite de las emisiones instantáneas, lo cual es relativamente sencillo. A este efecto, las exigencias de una operación para el proceso, es decir, el valor de las emisiones instantáneas, están bien fijadas dentro del respectivo límite regulador de las emisiones, con lo cual queda proporcionado un margen de seguridad.

(0067) Por el otro lado, el control de las emisiones dentro del límite del promedio rotativo es más complejo. La ventana de tiempo para el promedio rotativo avanza de forma continua. Por consiguiente, en cualquier momento pueden estar activas varias ventanas de tiempo, de las cuales una ventana de tiempo abarca desde el tiempo dado por un período de tiempo hacia atrás, mientras que otra ventana de tiempo abarca el período desde el tiempo dado en adelante.

(0068) Normalmente, el operador intenta controlar las emisiones con respecto al límite del promedio rotativo ó simplemente por mantener un margen suficiente entre las exigencias de la operación, ajustadas dentro del controlador PID 180 para el límite de emisiones instantáneas, y el límite actual de la regulación de emisiones, ó bien por emplear el criterio del operador para ajustar las exigencias de la operación en función del límite del promedio rotativo. En cualquier caso, no existe ningún control explícito de las emisiones del promedio rotativo y, por consiguiente, tampoco existe ninguna forma para asegurar el cumplimiento del límite del promedio rotativo, ni la prevención de un costoso cumplimiento del mismo en exceso.

Sistema de una selectiva reducción catalítica

(0069) A título de ejemplo, a continuación repasamos brevemente otro proceso para el control de la contaminación del aire, el sistema de la selectiva reducción catalítica (SCR) para la eliminación del óxido de nitrógeno NO_x, y para esta operación se pueden identificar unos desafíos similares. Una vista sinóptica del proceso SCR está indicada en la Figura 20.

(0070) La siguiente visión de conjunto del proceso procede de la Publicación "Control de las Emisiones de Oxido de Nitrógeno, Selectiva Reducción Catalítica (SCR)" Informe Tópico No. 9, Tecnología limpia del Carbón, Departamento de Energía de los Estados Unidos (1997).

Visión de conjunto del proceso

(0071) El óxido de nitrógeno NO_x, que consiste principalmente en óxido azoico NO, con cantidades más pequeñas de bióxido de nitrógeno NO₂, es convertido en nitrógeno por su reacción con NH₃ sobre un catalizador y en la presencia de oxígeno. Una pequeña fracción del SO₂, producido en la caldera por la oxidación del azufre dentro del carbón, es oxidada sobre el catalizador SCR para formar el trióxido sulfúrico (SO₃). Adicionalmente, las reacciones laterales pueden producir unos indeseables subproductos como son el sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄, y

el bisulfato de amonio NH_4HSO_4 . Existen unas complejas relaciones que intervienen en la formación de estos subproductos, pero las mismas pueden ser reducidas al mínimo a través de un apropiado control de las condiciones del proceso.

5 **Derrame de amoníaco**

(0072) El NH_3 sin reaccionar dentro del gas de combustión, corriente abajo del reactor SCR, es considerado como el derrame de amoníaco. Es esencial mantener este derrame de NH_3 por debajo de 5 ppm, con preferencia de 2 hasta 3 ppm, para reducir al mínimo la formación de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y de NH_4HSO_4 , que pueden causar obstrucciones y corrosión en los equipos dispuestos corriente abajo. Este problema es mayor en los carbones con alto contenido en azufre, el cual es originado por los mayores niveles de SO_3 , producidos tanto por unos más elevados niveles de SO_3 iniciales, debido al contenido de azufre en el combustible, como asimismo por la oxidación del SO_2 dentro del reactor SCR.

15 **Temperatura de operación**

(0073) Los costos del catalizador representan el 15 hasta el 20 % de los costos de inversión de la unidad SCR; por consiguiente, es esencial trabajar a la más elevada temperatura posible para aumentar al máxima la velocidad dentro del espacio y, por lo tanto, reducir al mínimo el volumen del catalizador. Al mismo tiempo, es necesario reducir al mínimo la velocidad de oxidación del dióxido de azufre SO_2 en el trióxido de azufre SO_3 que es más sensible a la temperatura que la reacción de la selectiva reducción catalítica SRC. La óptima temperatura de operación para el proceso SCR, empleando como catalizador el óxido de titanio y de vanadio, es de aproximadamente 650 hasta 750 grados F. La mayoría de las instalaciones emplean un desvío economizador para aportar el gas de combustión a los reactores a la temperatura deseada y en los períodos en los cuales las temperaturas del gas de combustión son más bajas como, por ejemplo, para una operación a carga reducida.

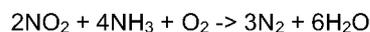
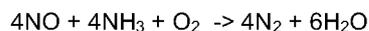
Catalizador

(0074) Los catalizadores de la Selectiva Reducción Catalítica SCR están hechos de un material de cerámica que representa una mezcla de soporte (óxido de titanio) y de componentes activos (óxido de vanadio y, en algunos casos, óxido de tungsteno). Las dos configuraciones más empleadas hoy en día del catalizador SCR son la forma de panal ó rejilla y las placas. La configuración de panal es normalmente una cerámica extrusionada, estando el catalizador ó incorporado en toda la estructura (de forma homogénea) ó aplicado como recubrimiento del sustrato. En la configuración de placas, el material de soporte está recubierto normalmente del catalizador. Al ser procesado un gas de combustión con contenido en polvo, los reactores son normalmente de forma vertical, con un flujo descendiente del gas de combustión. Por regla general, el catalizador está dispuesto en unas series de dos hasta cuatro lechos ó capas. Para una mejor utilización del catalizador es frecuente emplear tres ó cuatro capas, con la previsión de otra capa que no es instalada inicialmente.

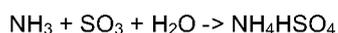
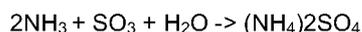
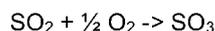
(0075) A la vista de que la actividad del catalizador se reduce con el tiempo, en el espacio disponible dentro del reactor es instalado un catalizador adicional. Al seguir la desactivación, el catalizador es sustituido sobre una base rotativa, es decir, una capa en un momento dado y empezando con la parte superior. Esta estrategia tiene por resultado la máxima utilización del catalizador. El catalizador es sometido periódicamente a un soplado del hollín para eliminar las deposiciones, empleándose el vapor como agente de limpieza.

45 **Química:**

(0076) La química del proceso SCR queda establecida por lo siguiente:



(0077) Las reacciones laterales están basadas en:



Descripción del proceso

(0078) Tal como indicado en la Figura 20, el gas de combustión sucio 112 sale del sistema de generación de energía 110. Este gas de combustión puede ser tratado por otros subsistemas del control de contaminación de aire (APC) 122, antes de entrar en el subsistema de la selectiva reducción catalítica (SCR) 2170. Este gas de combustión también puede ser sometido al tratamiento de otro subsistema de tipo APC (no indicado aquí), después del salir del proceso SCR y previo a su entrada en la chimenea 117. El óxido de nitrógeno NO_x dentro del

gas de combustión de entrada es medido mediante uno ó varios analizadores 2003. El gas de combustión con el NO_x 2008 se hace pasar por una rejilla de inyección de amoníaco (NH_3) 2050. El amoníaco 2061 es mezclado con el aire de dilución 2081 por un mezclador de amoníaco/aire de dilución 2070. La mezcla 2071 es dosificada dentro del gas de combustión por la rejilla de inyección 2050. Un soplador de aire de dilución 2080 suministra el aire de ambiente 152 al mezclador 2070, y un subsistema de suministro y almacenamiento de amoníaco 2060 aporta el amoníaco al mezclador 2070. El gas de combustión, cargado del NO_x , del amoníaco y del aire de dilución 2055, pasa hacia el interior del reactor SCR 2002, y aquí pasa por encima del catalizador de SCR. El catalizador de SCR promueve la reducción del NO_x mediante amoníaco a nitrógeno y a agua. El gas de combustión, libre del NO_x , 2008 sale del reactor SCR 2002 y sale también de la planta generadora a través de otros posibles subsistemas de APC (no indicados aquí) así como por la chimenea 117.

(0079) Existen unos adicionales analizadores de NO_x 2004 para la corriente 2008 del gas de combustión "libre" que sale del reactor SCR 2002 ó de la chimenea 117. El medido valor de salida de NO_x 2111 es combinado con el medido valor de entrada de NO_x 2112 con el fin de calcular la eficiencia en la eliminación del NO_x 2110. La eficiencia en la eliminación del NO_x es definida como el porcentaje del NO_x de entrada, eliminado del gas de combustión.

(0089) La calculada eficiencia en la eliminación del NO_x 2022 representa un dato de entrada para el sistema de control de la regulación de emisiones, el cual reajusta el punto de ajuste 2021A de la velocidad de flujo del amoníaco para el mezclador de amoníaco/aire de dilución 2070 y, finalmente, también para la rejilla de inyección de amoníaco 2050.

Controles en el proceso de la SCR

(0081) Un convencional sistema de control de SCR está basado en el sistema de control en cascada, indicado en la Figura 20. El bucle interior de control PID 2010 es empleado para controlar el flujo de amoníaco 2014 hacia el interior del mezclador 2070. El bucle exterior de control PID 2020 es empleado para controlar las emisiones de NO_x . El operador es responsable de la entrada del punto de ajuste 2031 - de la eficiencia en la eliminación de la emisión del NO_x - en el bucle exterior 2020. Tal como indicado en la Figura 21, puede ser empleado un selector 2030 para poner una exigencia superior 2032 en el punto de ajuste 2031, la cual es introducida por el operador. También es empleada muchas veces para la carga una adicional señal de avance de alimentación 2221 (no indicada en la Figura 21), de tal modo que el controlador pueda manejar de manera adecuada las transiciones en la carga. Para las implantaciones de este tipo, un sensor de carga 2009 facilita una carga medida 2809 del sistema de generación de energía 110. Esta carga medida 2809 es enviada a un ajustado punto de ajuste de flujo de amoníaco 2021B que, a su vez, es transmitido al controlador PID 2010. Este controlador PID 2010 combina el punto de ajuste 2021B con el medido flujo de amoníaco 2012 con el fin de formar un flujo de amoníaco VP 2011 que controla la cantidad de amoníaco que es aportada al mezclador 2070.

(0082) Este controlador tiene las siguientes ventajas:

1. Controlador de tipo estándar. Es un sencillo diseño de controlador estándar que se emplea para reforzar los requisitos especificados por el fabricante del subsistema SCR y por el vendedor del catalizador.
2. Controlador basado en el distribuido sistema de control DCS. La estructura es relativamente sencilla y puede ser implementada en el Sistema DCS de la unidad; se trata de la menos costosa opción para el control, la que reforzará los requisitos de operación, tanto del equipo como del catalizador.

Desafíos de operación del SCR

(0083) La operación del Sistema SCR está afectada por un número de parámetros de funcionamiento:

- * Carga de NO_x de entrada;
- * Relación molar local de amoníaco de NO_x ;
- * Temperatura del gas de combustión; y
- * Calidad, disponibilidad y actividad del catalizador.

(0084) Los desafíos de operación, relacionados con el esquema de control de la Figura 20, son los siguientes:

1. Medición del derrame de amoníaco: El mantenimiento del derrame de amoníaco por debajo de una especificada exigencia es crítico para la operación de la SCR. A pesar de ello, muchas veces no existe un cálculo, ni una medición on-line, del derrame de amoníaco. Incluso al estar disponible una medición del derrame de amoníaco, la misma muchas veces no está incluida directamente en el bucle de control. Por consiguiente, no está siendo medida una de las más críticas variables para la operación de la SCR.

El objetivo del funcionamiento de la SCR consiste en obtener el deseado nivel de eliminación del NO_x con un mínimo de derrame de amoníaco. El derrame de amoníaco está definido como la cantidad de amoníaco sin reacción dentro del vapor del gas de combustión libre del NO_x . Aunque haya solamente unos pequeños costos económicos, relacionados con la efectiva cantidad de amoníaco dentro de un derrame de amoníaco, existen, sin embargo, unos significativos impactos negativos de este derrame de amoníaco:

* El amoníaco puede reaccionar con el SO_3 dentro del gas de combustión para formar una sal que se deposita en las superficies de transmisión calorífica del precalentador de aire. Esta sal no solamente reduce la transmisión calorífica para todo el precalentador de aire, sino la misma atrae también las cenizas que reducen aún más la transmisión del calor. En un determinado momento, la transmisión de calor del precalentador de aire ha sido

5 reducida hasta tal extremo que el precalentado tenga que ser sacado del servicio para ser limpiado (lavado). Este lavado del precalentador representa, como mínimo, un evento de desaceleración dentro del sistema.

* El amoníaco también es absorbido por el catalizador (que puede ser considerado como una esponja de amoníaco). Un decrecimiento abrupto en el gas de combustión y en la carga del NO_x puede, a corto plazo, tener por resultado un derrame de amoníaco extraordinariamente elevado. Esta es justamente una condición de

10 transición que se encuentra fuera del alcance de un típico sistema de control. Si bien su naturaleza es transitoria, este amoníaco derramado combina todavía con el SO_3 y con la sal depositada en el precalentador de aire; aunque sea de poca duración, esta dinámica transitoria puede constituir, en una manera significativa, la capa de sal en el precalentador de aire (y provocar la atracción de cenizas volátiles).

* El amoníaco también está definido como un agente contaminante del aire. Aunque el derramo de amoníaco sea muy reducido, el amoníaco es muy aromático, de tal modo que incluso unas cantidades relativamente pequeñas del mismo puedan acarrear problemas de olores con las comunidades vecinas.

* El amoníaco es absorbido sobre las cenizas volátiles. Al hacerse excesivamente grande la concentración del amoníaco sobre las cenizas volátiles, se pueden presentar unos costos importantes, relacionados con el abandono de estas cenizas volátiles.

20 2. Punto de ajuste para la eficiencia en la eliminación del NO_x . Sin la medición de un derrame de amoníaco, el punto de ajuste 2031 para la eficiencia en la eliminación del NO_x es fijado muchas veces de una manera conservadora por el operador ó equipo de ingenieros con el fin de mantener el derrame de amoníaco bien por debajo de las exigencias del derrame. Por seleccionarse de manera conservadora el punto de ajuste para el NO_x ,

25 el operador ó ingeniero reduce la eficiencia de eliminación de la SCR en su conjunto. Un conservador punto de ajuste para la eficiencia en la eliminación del NO_x puede asegurar que no sea incumplida una exigencia con respecto al derrame de amoníaco, pero este punto de ajuste también tiene por resultado una eficiencia que es más reducida que la eficiencia que sería posible si el sistema trabajara en la cercanía de una limitación para el derrame de amoníaco.

30 3. Efectos de la temperatura sobre la SCR. Dentro del sistema de control estándar no se puede observar ningún intento para controlar la temperatura del gas de entrada a la SCR. Por regla general, algunos métodos para asegurar la temperatura del gas están implementados dentro de unos límites aceptables, impidiendo normalmente una inyección de amoníaco al encontrarse la temperatura por debajo de un límite mínimo. En la mayoría de los casos, sin embargo, no se hace, efectivamente, ningún intento para controlar ó optimizar la temperatura. Además,

35 tampoco es efectuada ninguna modificación en el punto de ajuste del NO_x en base a la temperatura ó al perfil de la temperatura.

4. El NO_x y el perfil de velocidad. El funcionamiento de la caldera y de la tubería contribuyen a proporcionar una distribución no uniforme del NO_x por todo el sistema SCR. Para tener un mínimo derrame de amoníaco ha de ser controlada la relación entre NO_x y el amoníaco, y sin una mezcla uniforme, este control debe ser efectuado

40 localmente para evitar los puntos de un elevado derrame de amoníaco. Lamentablemente, el perfil de distribución del NO_x está en función, no justamente de la tubería, sino de la operación de la caldera. De este modo, los cambios en el funcionamiento de la caldera influyen directamente en la distribución del NO_x . Los controladores de tipo estándar no tienen en cuenta el hecho de que el perfil de entrada del NO_x a la SCR y la velocidad del mismo son raramente uniformes ó estáticos. Esto tiene por resultado una sobre- inyección del reactivo por algunos tramos de la sección transversal de la tubería con el fin de asegurar un reactivo adecuado dentro de otras zonas. Como consecuencia, se presenta un incrementado derrame de amoníaco para una determinada eficiencia en la

45 eliminación del NO_x . Aquí es otra vez así que el operador ó el equipo de ingenieros responde a una mala distribución con una reducción en el punto de ajuste del NO_x . Debe ser tenido en cuenta que los analizadores de entrada y de salida del NO_x , 2003 y 2004, respectivamente, también pueden constituir un solo analizador individual ó pueden formar una línea de análisis. De forma adicional al promedio de la concentración de NO_x , una multitud de valores de análisis podrían proporcionar una información sobre la distribución del NO_x y sobre el perfil del mismo. Para poder aprovechar las ventajas de la adicional información sobre la distribución del NO_x sería necesaria una multitud de controladores de flujo de amoníaco 2010 con alguna inteligencia para distribuir de forma dinámica todo el flujo del amoníaco entre las distintas zonas de la rejilla de inyección para que el flujo del amoníaco se pueda

50 ajustar más estrechamente a la concentración local del NO_x .

5. Control dinámico. El controlador de tipo estándar también falla en proporcionar un efectivo control dinámico. Quiere decir esto que, al cambiar las condiciones para la entrada a la SCR, lo cual requiere una modulación de la velocidad de inyección del amoníaco, es poco probable que el control de retroalimentación de la eficiencia en la eliminación del NO_x esté en condiciones de prevenir unas significativas desviaciones dentro de esta variable del

60 proceso. Una rápida transición en la carga y los retrasos en el tiempo del proceso constituyen unos eventos dinámicos que pueden originar unas importantes desviaciones en el proceso.

6. Descomposición del catalizador. El catalizador se descompone con el tiempo y reduce la eficiencia de la SCR en la eliminación del NO_x , como asimismo incrementa el derrame de amoníaco. El sistema de control debe tener en consideración esta degradación con el fin de aumentar al máximo la velocidad de eliminación del NO_x .

65 7. Emisiones de promedios rotativos. Muchos permisos para la regulación de las emisiones tienen previstos tanto unos límites para las emisiones instantáneas como asimismo una forma de límites para las emisiones del tipo promedio rotativo. Para permitir unas desviaciones dinámicas en el proceso, el límite de las emisiones instantáneas es más amplio que el límite del promedio rotativo de las emisiones, y un funcionamiento continuado

con el límite de las emisiones instantáneas tendría por resultado una violación del límite del promedio rotativo. El límite de las emisiones del promedio rotativo representa el valor medio de las emisiones instantáneas dentro de una ventana de tiempo cambiante ó rotativa. Esta ventana de tiempo puede ser tan corta como una hora ó tan larga como un año. Algunas típicas ventanas de tiempo pueden ser de una hora, de tres horas, de veinticuatro horas, de un mes y de un año. Para el controlador estándar no está considerado un control automático de los promedios rotativos. La mayoría de los permisos para la emisión del NO_x están basados en los límites regionales de 8 horas para una emisión de tipo promedio rotativo de concentración del NO_x en el aire de ambiente.

(0085) Los operadores fijan normalmente para la SCR un punto de ajuste 2031 para la deseada eficiencia en la eliminación del NO_x, y los mismos efectúan unos ajustes menores en base a la poco frecuente información de muestreo de las cenizas volátiles. Ha de ser realizado un muy pequeño esfuerzo para perfeccionar el control dinámico de la selectiva reducción catalítica SCR durante las transiciones en la carga ó para optimizar la operación de la SCR. El hecho de seleccionar para el NO_x la óptima eficiencia instantánea y, al ser posible, el promedio rotativo de la eficiencia para la eliminación del mismo, representa también un problema elusivo y cambiante debido a cuestiones comerciales, a reglamentaciones, a créditos y a cuestiones del proceso en sí, las cuales son similares a los problemas relacionados con una óptima operación de la desulfuración de WFGD.

(0086) Otros procesos del control de contaminación del aire APC ponen en evidencia unos problemas relacionados con:

- * El control y la optimización de la operación dinámica del proceso;
- * El control de la calidad del subproducto;
- * El control de las emisiones del promedio rotativo; y
- * La optimización de los activos del Air Pollution Control APC.

(0087) Estos problemas de los otros procesos son similares los problemas detallados en la anterior descripción de los subsistemas de la desulfuración WFGD y de la selectiva reducción catalítica SCR.

(0088) La Solicitud de Patente Europea Núm. 0 296 500 describe un procedimiento para la eliminación de cloruro de hidrógeno de un gas de escape, descargado de un incinerador, el cual comprende las fases de hacer que el cloruro de hidrógeno - contenido en un gas de escape que es descargado de un incinerador - sea puesto en reacción con una cal viva apagada dentro de lodo para formar un cloruro de calcio básico; de detectar la concentración (y) del cloruro de hidrógeno remanente dentro del gas de escape después de la reacción con la cal viva apagada; de determinar una desviación (Δy) de la así detectada concentración (y) del cloruro de hidrógeno con respecto a una previamente determinada concentración de objetivo (y_o) del mismo; de determinar una corregida desviación (Δy y min) por añadir a la desviación (Δy) anteriormente mencionada un valor de corrección (Δy_1), calculado por el empleo de una función de transferencia que representa un retraso de primer orden, de una función de transferencia que representa un tiempo muerto, y de una cantidad de objetivo de aportación de cal viva apagada que pone la desviación (Δy) a cero; de determinar una cantidad de objetivo de aportación (U) de cal viva apagada, la que pone la así determinada y corregida desviación (Δy min) a cero; como asimismo comprende este procedimiento la fase de ajustar una cantidad de aportación de cal viva apagada de tal manera que la cantidad de aportación de cal viva apagada coincida con la así determinada cantidad de objetivo de aportación (U) de la cal viva apagada, por lo cual el cloruro de hidrógeno es eliminado del gas de escape que es descargado del incinerador.

(0089) La Solicitud de Patente Europea Núm. EP 0 866 395 describe un procedimiento para la reducción de las emisiones de óxido nítrico hacia la atmósfera desde un proceso de combustión; el amoníaco es inyectado en el flujo de gases de combustión corriente arriba de un convertidor catalítico (proceso de SCR) ó la urea ó una sustancia similar es inyectada por pulverización en una cámara de combustión posterior (proceso SNCR). El agente es introducido en proporción a la cantidad del óxido nítrico. La cantidad del agente introducido es calculada y determinada en relación con los siguientes puntos: (a) La medida cantidad del óxido nítrico y un primer ajuste del proceso, el cual determina la cantidad del agente; (b) Un segundo ajuste del proceso para la cantidad del agente, la cual queda determinada por el derrame del agente; y (c) Es adoptado ó el primer ajuste ó el segundo ajuste del proceso, lo cual está en función del detectado nivel de óxido nítrico.

(0090) La Solicitud de Patente Europea Núm. EP 1 382 905 describe un procedimiento para la determinación de una mezcla de material de entrada para un horno para cemento, en el cual el horno es alimentado con materiales de entrada, y estos materiales de entrada pueden ser clasificados en materia prima, combustible y desperdicios. Este procedimiento comprende determinar las limitaciones en la operación del horno y expresar estas limitaciones como una función de la velocidad de alimentación de la materia prima, del combustible y de los desperdicios, siendo determinadas así una función del costo, que representa el total de los costos de la operación del horno por un período de tiempo dado, y una función de la velocidad de alimentación de la materia prima, del combustible y de los desperdicios, comprendiendo la referida función del costo los costos de la materia prima, los costos del combustible y los costos de los desperdicios así como los ingresos del producto; como asimismo comprende este procedimiento la determinación de las trayectorias de la velocidad de alimentación para la materia prima, el combustible y los desperdicios, trayectorias éstas que reducen al mínimo la función del costo y las mismas satisfacen las referidas limitaciones.

(0091) La Patente Internacional Núm. WO 03/065 135 describe un procedimiento para el control de un sistema que está sometido a cambios transitorios en los datos de salida como los objetivos. Estos datos de salida como objetivos especifican unos datos de salida que son necesarios para el sistema. Una información de "estado estacionario" es empleada para producir unos óptimos datos de entrada para el sistema al ser sustancialmente constantes los datos de salida como los objetivos. Un modelo del sistema es empleado para pronosticar los datos de salida del sistema como respuesta a los potenciales nuevos valores como las entradas al sistema. Este procedimiento combina la información de estado estacionario con la pronosticada respuesta del sistema con el fin de determinar los datos de entrada al sistema, los cuales hacen que los datos de salida del mismo se ajusten de la máxima forma posible a los datos de salida que constituyen el objetivo.

(0092) La Patente Núm. 5.386.373 de los Estados Unidos describe un sistema para el control continuo de las emisiones de una planta de fabricación, el cual comprende un sistema de control que tiene, asociada al mismo, una red virtual de sensores. Esta red es una red de predicción que recibe, como datos de entrada, tanto los datos de control de la planta como también los datos de los sensores. En este caso, la red es operativa para trazar los datos de entrada a través de una acumulada representación de la planta con el fin de pronosticar, como dato de salida, un nivel de contaminantes para los sensores. Este pronosticado nivel de contaminantes para los sensores es, en esencia, la predicción de un nivel de contaminantes efectivos para los sensores, el cual puede ser medido a través de un sensor de contaminantes. Por consiguiente, la red es un sustituto para el sensor de contaminantes, toda vez que la misma proporciona un sensor virtual. En primer lugar, los datos del sensor, los cuales proceden de la planta, son procesados por medio de un sistema de validación de sensores que es operativo para determinar cual de los sensores queda por fuera de unos límites aceptables para luego sustituir un pronosticado dato de salida, y esto de tal manera que los datos de entrada a la red de sensores virtuales se encuentren dentro de los límites aceptables.

(0093) La Patente Núm. 6.168.709 de los Estados Unidos describe un procedimiento para producir un combustible de coque así como unas técnicas para el control del medio ambiente - - como, por ejemplo, la eliminación tanto de SOx como de NOx - con el fin de sacar ventaja de las extraordinarias características de este perfeccionado coque de petróleo.

Breve resumen de la invención

(0094) En conformidad con la presente invención, un controlador dirige la operación de un sistema de control de contaminación del aire (APC) con el fin de llevar a efecto un procedimiento para tratar un gas de combustión, que contiene los contaminantes, al objeto de controlar las emisiones de un contaminante. Este procedimiento tiene una multitud de parámetros de proceso (MPP). Uno ó varios de esta multitud de parámetros de proceso MPPs representan unos controlables parámetros de proceso (CTPP), mientras que uno de los MPPs representa la cantidad de contaminantes (AOP), la cual es emitida por el sistema.

(0095) Un dispositivo de entrada de datos está configurado para poder identificar un objetivo de optimización con el fin de reducir al mínimo la cantidad de contaminantes emitidos (AOP) ó para reducir al mínimo el costo de la operación del sistema. Este dispositivo de entrada de datos podría ser, por ejemplo, un dispositivo de entrada de datos por parte del usuario como, por ejemplo, un teclado ó un ratón ó bien cualquier otro tipo de dispositivo para la introducción de datos como, por ejemplo, la red de un servidor, la cual está conectada a la vía de acceso a través de una red de comunicaciones.

(0096) El controlador comprende un procesador de control que puede tener la configuración de un ordenador personal (PC) ó puede formar parte del mismo ó de cualquier otro tipo de ordenador. Algunas veces, el proceso del control puede ser referido como un controlador de proceso multivariable ó como una parte del mismo. El procesador de control está configurado con una lógica, es decir, con un programa de software, ó con otro tipo de lógica programada, con el fin de determinar un punto de ajuste para por lo menos uno de los controlables parámetros de proceso CTPPs en base a unos actuales valores de los múltiples parámetros de proceso MPPs, es decir, en base a los actuales valores de uno ó a varios de estos MPPs, así como para determinar el identificado objetivo de optimización. En este caso, el controlador dirige el control de uno de los CTPPs en base al punto de ajuste, determinado para este controlable parámetro de proceso CTPP. El proceso tiene un definido valor del control de contaminación del aire (AOPV) que puede representar un objetivo ó un límite para el valor actual (AV) de la emitida cantidad de contaminantes (AOP). El procesador de control está configurado con una lógica adicional con el fin de determinar el punto de ajuste para por lo menos uno de los CTPPs, también en base al valor de control de contaminación del aire (AOPV). El identificado objetivo de optimización consiste en mantener la emitida cantidad de contaminantes (AOP) a un nivel que está por debajo del valor de control de contaminación del aire (AOPV).

(0097) De acuerdo con un aspecto de la presente invención es así que el controlador puede comprender ó un modelo neuronal de red de proceso ó un modelo no-neuronal de red de proceso, los cuales representan las relaciones entre cada uno de los CTPPs y la emitida cantidad AOP, y este controlador determina el punto de ajuste, también en base a uno de los modelos. El modelo empleado puede incluir un primer modelo de principio, un modelo híbrido ó un modelo de regresión.

(0098) El proceso tendrá, por regla general, un definido valor de la cantidad AOP, es decir, el valor AOPV puede

representar un objetivo ó una limitación para el valor actual de la cantidad AOP emitida. Debe tenerse en cuenta que el valor actual puede ser medido ó calculado. Este valor AOPV puede ser, por ejemplo, una limitación de la reglamentación con respecto al valor actual de la cantidad AOP emitida como, por ejemplo, una limitación de la cantidad AOP por unas emisiones instantáneas ó del tipo de promedio rotativo, ó cualquier otra clase de objetivo ó limitación. Una vez definido el valor AOPV, el identificado objetivo de optimización podría mantener la cantidad AOP emitida a un nivel que está por debajo del valor AOPV. Si el objetivo de optimización consiste en mantener la cantidad AOP emitida como una cantidad especificada ó dentro de una gama especificada como por estar por debajo del valor AOPV, el procesador de control determinará el punto de ajuste también en base a este valor AOPV. Quiere decir esto que los valores actuales de los MPPs, el identificado objetivo de optimización y el valor AOPV serán tenidos en consideración al ser determinado cada punto de ajuste.

(0099) Ha de saberse, asimismo, que las prestaciones de algunos procesos del control de contaminación del aire APC también incluyen la fabricación de un subproducto como, por ejemplo, el yeso. En este caso, el identificado objetivo de optimización puede estabilizar ó aumentar al máximo ó bien reducir al mínimo la calidad del subproducto fabricado. Al ser fabricado un subproducto, uno de los MPPs puede representar la calidad del subproducto fabricado (QPBP), y el proceso puede tener un deseado valor del QPBP, ó sea, el QPBPV que representa un límite para la actual calidad del subproducto QPBP, es decir, un valor mínimo de la calidad, y el identificado objetivo de optimización puede mantener la calidad QPBP ó al mismo nivel del valor QPBPV ó por encima ó bien por debajo de este valor. Sin embargo, si el identificado objetivo de optimización ha de mantener ó no mantener la calidad QPBP a un nivel en relación con el valor QPBPV, el procesador de control determinará, de una manera conveniente, el correspondiente punto de ajuste, también en base al valor de la calidad del subproducto, es decir, en base a QPBPV. Esto significa que los actuales valores de los MPPs, incluida la calidad QPBP, el identificado objetivo de optimización y el valor de la calidad del subproducto, QPBPV, serán tenidos en consideración para la determinación de cada punto de ajuste.

(0100) El sistema puede consistir, por ejemplo, en un sistema de desulfuración del gas de combustión húmedo (WFGD), el cual recibe un gas de combustión húmedo que está cargado del bióxido de azufre SO_2 ; el sistema aplica un lodo de piedra caliza para eliminar el SO_2 del recibido gas de combustión, que está cargado del SO_2 , y el mismo controla, de este modo, las emisiones del SO_2 ; y este sistema también despiden hacia el medio ambiente el gas de combustión, una vez desprovisto el mismo del SO_2 . En este supuesto, la cantidad AOP sería la cantidad del SO_2 dentro del despedido gas de combustión desulfurado, y los MPPs comprenderían normalmente un primer parámetro, correspondiente al valor pH del lodo de piedra caliza aplicado, así como un segundo parámetro, correspondiente a la distribución de la piedra caliza, y uno de estos MPPs, ó incluso ambos, también pueden ser CTPPs. Tal como esto lo saben las personas familiarizadas con este ramo técnico, el valor pH del lodo de piedra caliza puede estar representado por un valor pH medido ó calculado y/ó por un valor pH correspondiente a una determinada cantidad de lodo aplicada. La distribución del lodo está representada frecuentemente por lo que normalmente se entiende por una línea de bombas que, por regla general, está relacionada con un determinado nivel de lodo dentro de un absorbedor, hacia cuyo interior es bombeado el lodo.

(0101) Un punto de ajuste puede ser determinado para uno de estos parámetros, y esto en base a: (i) el valor actual de este parámetro; (ii) la cantidad de SO_2 dentro del gas de combustión, desulfurado y despedido; y (iii) el identificado objetivo de optimización, es decir, la reducción al mínimo de la cantidad de SO_2 dentro del despedido gas de combustión. En este caso, el procesador de control dirige el control de un parámetro, basándose en el determinado punto de ajuste para este parámetro, con el fin de optimizar las operaciones del sistema de WFGD en función del identificado objetivo de optimización. Ha de tenerse en cuenta que el determinado punto de ajuste anteriormente referido puede ser uno de una multitud de determinados puntos de ajuste, es decir, los puntos de ajuste, tanto para el primer parámetro como para el segundo parámetro, podrían ser determinados por el control de uno ó de varios parámetros que están siendo dirigidos en base a los determinados puntos de ajuste para optimizar las operaciones del sistema de WFGD conforme al identificado objetivo de optimización.

(0102) El sistema de la WFGD también aplica normalmente un aire de oxidación para cristalizar el SO_2 , eliminado del recibido gas de combustión húmedo, que está cargado del SO_2 , y el mismo produce, de este modo, el yeso como un subproducto del eliminado SO_2 , procedente del recibido gas de combustión húmedo, cargado del SO_2 . Por consiguiente, los MPPs comprenderán normalmente también un tercer parámetro, correspondiente a una cantidad del aire de oxidación aplicado; parámetro este que puede estar representado por otro CTPP. En este caso, un punto de ajuste también puede ser determinado, de forma alternativa, para estos parámetros, y esto en base a: (i) su valor actual; (ii) la cantidad de SO_2 dentro del despedido y desulfurado gas de combustión; y (iii) el identificado objetivo de optimización, es decir, el incremento de la calidad del subproducto del yeso hasta un determinado nivel ó dentro de una gama particular. En este caso, el procesador de control podría dirigir el control de este tercer parámetro en base a su determinado punto de ajuste y con el fin de optimizar las operaciones del sistema de WFGD en función del identificado objetivo de optimización.

(0103) Por el otro lado, el sistema podría representar el sistema de una selectiva reducción catalítica (SCR), el cual recibe el gas de combustión, cargado del NO_x ; aplica el amoníaco y un aire de dilución para eliminar el NO_x del recibido gas de combustión, cargado del NO_x ; controla, de este modo, las emisiones del NO_x y despiden el gas de combustión, reducido del NO_x . En este caso, la cantidad AOP representa la cantidad de NO_x dentro del despedido gas de combustión, y los MPPs comprenderán un parámetro que corresponde a la cantidad de amoníaco aplicada. Este parámetro será normalmente un CTPP. Por consiguiente, el procesador de control podrá determinar el punto

de ajuste para este parámetro en base a: (i) su valor actual; (ii) la cantidad de NO_x dentro del despedido gas de combustión; y (iii) el identificado objetivo de optimización, y el mismo puede dirigir el control del parámetro en base al determinado punto de ajuste con el fin de optimizar las operaciones del sistema SCR en función del identificado objetivo de optimización. Ha de tenerse en cuenta que los MPPs de un proceso de la selectiva reducción catalítica SCR también comprenderán normalmente la cantidad de amoníaco dentro del despedido gas de combustión y, por consiguiente, el procesador de control podría, si esto es deseado, determinar el punto de ajuste para el parámetro correspondiente a una cantidad del amoníaco aplicado, y esto también en base a un valor actual de la cantidad de amoníaco dentro del despedido gas de combustión.

10 **Breve descripción de los planos**

(0104)

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques que da una visión de conjunto de un convencional subsistema de desulfuración del gas de combustión húmedo (WFGD);
 La Figura 2 indica más detalles de algunos aspectos del subsistema de WFGD, indicado en la Figura 1;
 La Figura 3 muestra más detalles de otros aspectos del subsistema de WFGD, indicado en la Figura 1;
 La Figura 4 indica un gráfico acerca de la eficiencia en la eliminación del SO₂, en comparación con la pureza del yeso y en función del valor pH;
 La Figura 5A muestra una casilla con las exigencias para la desulfuración WFGD con las prestaciones del proceso de WFGD dentro de una zona de cómoda obtención;
 La Figura 5B indica la casilla de las exigencias de la desulfuración WFGD de la Figura 5A con las prestaciones del proceso de WFGD, optimizadas conforme a la presente invención;
 La Figura 6 representa un diagrama de bloques funcionales de una ejemplar arquitectura del control MPCC, conforme a la presente invención;
 La Figura 7 muestra, a título de ejemplo, las partes componentes de un controlador MPC así como un estimador, apropiado para su empleo en la arquitectura de control de la Figura 6;
 La Figura 8 indica más detalles de la unidad de procesamiento y del disco de memoria del controlador MPC, indicado en la Figura 7, en conformidad con la presente invención;
 La Figura 9 muestra un diagrama de bloques funcionales del estimador, incorporado en el controlador MPC detallado en la Figura 8;
 La Figura 10 indica una arquitectura múltiple de control MPCC, en conformidad con la presente invención;
 La Figura 11A muestra una pantalla de interfase, dispuesta entre el controlador MPC múltiple y el usuario, conforme a la presente invención;
 La Figura 11B indica otra pantalla de interfase, presentada por el controlador MPC múltiple para la revisión, la modificación y/u otros cortes adicionales ó planificados, conforme a la presente invención;
 La Figura 12 muestra, a escala de aumento, una vista de la arquitectura múltiple del control MPCC de la Figura 10, conforme a la presente invención;
 La Figura 13 indica un diagrama de bloques funcionales de la interfase de una arquitectura de control MPCC, que lleva incorporado un estimador, y con el distribuido sistema de control (DCS) para el proceso de la desulfuración WFGD conforme a la presente invención;
 La Figura 14A muestra la pantalla DCS para controlar el control MPCC conforme a la presente invención;
 La Figura 14B indica otra pantalla DCS para introducir los datos de laboratorio y/u otros datos, conforme a la presente invención;
 La Figura 15A muestra un subsistema de WFGD con el conjunto de las operaciones del subsistema, las cuales son controladas mediante el control MPCC conforme a la presente invención;
 La Figura 15B indica el control MPCC que controla el subsistema de WFGD indicado en la Figura 15A, conforme a la presente invención;
 La Figura 16 muestra más detalles de algunos aspectos del subsistema de WFGD, indicado en la Figura 15A y conforme a la presente invención; aspectos éstos que corresponden al subsistema indicado en la Figura 2;
 La Figura 17 indica más detalles de otros aspectos del subsistema de WFGD, indicado en la Figura 15A y conforme a la presente invención; aspectos éstos que corresponden al subsistema indicado en la Figura 3;
 La Figura 18 muestra más detalles de todavía otros aspectos del subsistema de WFGD indicado en la Figura 15A y conforme a la presente invención;
 La Figura 19 indica más detalles sobre los aspectos del control MPCC, indicado en la Figura 15B y conforme a la presente invención;
 La Figura 20 representa un diagrama de bloques que da una visión de conjunto de una típica unidad de la selectiva reducción catalítica (SCR);
 La Figura 21 muestra el esquema de un proceso de control convencional para el subsistema de la SCR;
 La Figura 22 indica los detalles de la unidad de procesamiento y del disco de memoria del controlador MPC en conformidad con la presente invención;
 La Figura 23A muestra el subsistema de SCR con el conjunto de las operaciones del subsistema, las cuales son controladas mediante un control MPCC, conforme a la presente invención; mientras que
 La Figura 23B indica más detalles sobre algunos aspectos del control MPCC, indicado en la Figura 23A y conforme a la presente invención.

Descripción detallada de preferidas formas para la realización de la invención

(0105) Tal como esto se ha puesto de manifiesto, unas operaciones eficientes y efectivas del subsistema de WFGD, y de otros subsistemas similares, son ahora más complejas que nunca. Por consiguiente, es muy probable que esta complejidad siga creciendo en los próximos años, con una adicional presión por parte de la competencia y con unas normativas suplementarias en cuanto a la contaminación del aire. Las convencionales técnicas y estrategias para el control de los procesos son incapaces de tratar estas complejidades adecuadamente y, por lo tanto, las mismas no están en condiciones de optimizar el control de estas operaciones.

(0106) Dentro de un ambiente comercial, que de forma dinámica está cambiando con respecto a la duración de la vida útil de un subsistema en cuanto a las operaciones, es deseable aumentar al máximo el valor comercial de un subsistema en relación con sus operaciones en cualquier momento. Esta optimización de activos puede estar basada en unos factores que ni siquiera pueden estar considerados en las convencionales estrategias del control de procesos. Por ejemplo, dentro de un ambiente comercial, en el cual existe un mercado para negociar los créditos de regulación de emisiones, la eficiente operación de un subsistema puede hacer aconsejable la adquisición y la venta de adicionales créditos de regulación de emisiones con el fin de incrementar al máximo el valor del subsistema, a pesar de los adicionales costos de operación que se pueden presentar con la obtención de tales créditos.

(0107) Por consiguiente, en lugar de aplicar simplemente una estrategia de incrementar al máximo la absorción del SO₂, de reducir al mínimo los costos de operación y de cumplir las especificaciones de la calidad del subproducto, una estrategia más completa puede ser aplicada para optimizar las operaciones del subsistema, sin tener en cuenta que la absorción del SO₂ es aumentada al máximo ó no ó que los costos de operación son reducidos al mínimo ó que son cumplidas las especificaciones de calidad del subproducto. Además, no solamente pueden ser proporcionadas unas herramientas para mejorar sustancialmente el control del subsistema en el sentido, por ejemplo, de que un perfeccionado control del subsistema puede ser efectuado de forma completamente automática. Por lo tanto, las operaciones pueden ser automatizadas y optimizadas, no solamente para los parámetros y las exigencias en cuanto a la operación, sino también con respecto al entorno comercial. El subsistema puede ser controlado de manera automática para trabajar muy cerca del límite según el permiso oficial de emisiones, ó de cumplirlo exactamente, al ser el valor de mercado de los generados créditos de regulación inferior a los adicionales costos de operación del subsistema para producir estos créditos. Sin embargo, el subsistema también puede ser controlado automáticamente para ajustar estas operaciones de tal manera que se pueda trabajar por debajo del nivel del permiso oficial de emisiones y poder generar con ello más créditos de emisiones al ser el valor de mercado para los generados créditos de regulación de emisiones mayor que los costos adicionales del subsistema para producir estos créditos. En efecto, el control automatizado puede dirigir el subsistema a trabajar para eliminar tanta cantidad como sea posible del SO₂ hasta el valor marginal en Dólares, es decir, cuando el valor del crédito de emisiones sea igual a los costos del procesamiento para generar este crédito.

(0108) Para resumir, la optimizada operación del subsistema WFGD así como de otros subsistemas similares requiere tener en consideración no solamente unos factores complejos en cuanto al proceso y a las regulaciones oficiales, sino también unos importantes factores de carácter comercial, al igual que unos cambios dinámicos de estos distintos tipos de factores. La optimización puede exigir tener en consideración unos factores comerciales de tipo local que es cuando, por ejemplo, una unidad de una multitud de unidades de procesamiento de WFGD debe ser quitada de la línea, y/ó de tipo regional, es decir, cuando ha de ser quitada de la línea otra unidad de procesamiento de WFGD de la misma Compañía, la cual está funcionando en la región, ó incluso de tipo global. Unos precios de mercado, que varían ampliamente y de manera dinámica como, por ejemplo, los créditos de la regulación de emisiones del SO₂ a largo plazo, también necesitan ser tenidos en cuenta para un proyecto de optimización.

(0109) Por consiguiente, los controles deberían con preferencia ser capaces de regular la operación ó para reducir al mínimo la eliminación del SO₂, objeto de las regulaciones oficiales de emisiones, ó para incrementar al máximo esta eliminación del SO₂. La capacidad de llevar a efecto tales ajuste permitirá al propietario del subsistema sacar provecho de los dinámicos cambios en el valor de los créditos de regulación y generar estos créditos por excluir un subsistema de la operación del permiso y sustituirlo por otro de sus subsistemas ó bien sacar ventaja de la necesidad de otro propietario de un subsistema para adquirir los créditos de regulación con el fin de excluir de su subsistema las operaciones de permisos. Además, estos controles también deben ser preferentemente capaces de ajustar las operaciones otra vez tan pronto que ya no sea conveniente la generación de otros créditos de regulación de emisiones. En otras palabras: El sistema de control debe optimizar continuamente la operación del activo que representa el control de contaminación del aire APC, la cual es objeto de las exigencias puesta al equipo, al procesamiento, a las regulaciones oficiales y a las condiciones comerciales.

(0110) Teniendo en cuenta que no existe ningún incentivo para sobrepasar la exigida pureza del subproducto yeso, los controles deberían con preferencia facilitar la optimización de la operación para ajustar la calidad del subproducto yeso a la especificación de la calidad del yeso ó a otros condicionantes para su venta. Este optimizado control tendría que facilitar la evitación de una obstrucción por piedra caliza a través de unas anticipadas acciones directivas para regular el nivel de oxígeno O₂ en función del deseado nivel de absorción del SO₂ y de los requisitos para producir el yeso.

(0111) Como ya mencionado anteriormente, el control de las emisiones en relación con un promedio rotativo representa un problema complejo. Esto es debido, por lo menos en parte, a la ventana de tiempo para el promedio

rotativo avanza constantemente y, en un momento dado, puede ser activada una multitud de ventanas de tiempo. Por regla general, unas ventanas activas se extienden desde un determinado momento hacia tiempos pasados, mientras que otras ventanas activas se extienden de un determinado momento hacia tiempos futuros.

5 (0112) El manejo de las emisiones de un promedio rotativo exige la integración de todas las emisiones durante el tiempo de la ventana del promedio rotativo. Por consiguiente, la optimización de las emisiones con respecto al objetivo del promedio rotativo requiere la selección de un objetivo de emisiones instantáneas que tenga en cuenta las efectivas emisiones del pasado así como las pronosticadas emisiones futuras ó unos planes de operación para todas las ventanas de tiempo que estén activas.

10 (0113) A título de ejemplo, la optimización de un promedio rotativo de cuatro horas requiere examinar una multitud de ventanas de tiempo, la primera de las cuales comienza a las 3 horas y 59 minutos en el pasado y termina en el momento actual, mientras que la última ventana de tiempo comienza en el momento actual y termina a cuatro horas en el tiempo futuro. Ha de ser reconocido que, con una "resolución" de un minuto por cada ventana de tiempo, la optimización de este relativamente corto promedio rotativo de cuatro horas podría implicar la selección de un objetivo instantáneo que satisface las exigencias de 479 ventanas de tiempo.

15 (0114) La determinación de un objetivo para la emisión de un promedio rotativo para una individual e integrada ventana de tiempo implica, en primer lugar, calcular la totalidad de las emisiones del pasado dentro de la integrada ventana de tiempo para luego pronosticar, por ejemplo, una cantidad de futuras emisiones para el remanente de la individual e integrada ventana de tiempo, el cual será el resultado de las emisiones medias durante el tiempo de esta misma ventana de tiempo, las cuales se encuentran ó al límite del promedio ó por debajo del límite del promedio. Las emisiones futuras comienzan con el momento actual. Sin embargo, para ser exacto, estas emisiones futuras también han de comprender una predicción de las emisiones procedentes de las operaciones durante el remanente de esta individual ventana de tiempo integrada.

20 (0115) Es evidente que, cuanto más extensa sea la ventana de tiempo, más difícil será pronosticar las emisiones futuras. A título de ejemplo, las emisiones procedentes de las operaciones a efectuar en las próximas horas pueden ser pronosticadas de una manera bastante exacta, pero las emisiones durante los próximos once meses son más difíciles de pronosticar a la vista de que han de ser tenidos en consideración ciertos factores como, por ejemplo, las variaciones de temporada y los cortes planificados. Además, puede ser necesario añadir un margen de seguridad para unos cortes no proyectados ó para unas limitaciones de capacidad, impuestas al subsistema.

25 (0116) Por consiguiente, con el fin de optimizar el proceso de la WFGD como, por ejemplo reducir al mínimo los costos de operación y/ó aumentar al máximo la eliminación del SO₂ manteniendo, sin embargo, el proceso dentro de los condicionantes de la operación, tienen que ser determinados automáticamente unos óptimos puntos de ajuste para el proceso de WFGD.

30 (0117) Según las formas para la realización de la presente invención, las que más abajo están descritas con mayor detalle, el planteamiento de un multivariable control predictivo (MPC), que está basado en un modelo, es empleado para proporcionar un óptimo control del proceso de la WFGD. Por regla general, esta tecnología del MPC facilita para los procesos un control dinámico de múltiples datos de entrada y de múltiples datos de salida. Tal como esto lo saben las personas familiarizadas con este ramo técnico, la tecnología del MPC ha sido desarrollada primitivamente en la segunda mitad de los años 1970. Las innovaciones técnicas dentro de este campo continúan hasta hoy. La tecnología MPC abarca un elevado número de métodos ó de técnicas de control sobre la base de modelos. Estos métodos le permiten al ingeniero de control tratar los complejos procesos dinámicos de interacción de una manera más efectiva que como esto sería posible por medio de los convencionales sistemas de control por retroalimentación del tipo PID. Las técnicas del MPC están en condiciones de controlar tanto los procesos lineales como unos procesos no lineales.

35 (0118) Todos los sistemas de control MPC emplean explícitamente unos modelos dinámicos para pronosticar el comportamiento de los futuros procesos. A este efecto, es calculada una específica acción de control para reducir a una extensión mínima una función de objetivo. Finalmente, es implementado un horizonte de retroceso por el cual el horizonte es desplazado, con cada incremento de tiempo, por un incremento hacia el futuro. Resulta, asimismo, que con cada incremento es efectuada la aplicación de la primera señal de control, correspondiente a la acción del control de la secuencia prevista para esta fase. Para los ingenieros de control existe en el mercado una cantidad de tales programas como, por ejemplo, los programas Generalized Predictive Control GPC ó control general predictivo; Dynamic Matrix Control DMC ó control dinámico de matrices ó Pegasus Power Perfecter ó perfeccionador de energía Pegaso. Los Autores Comancho y Bordons facilitan una excelente visión de conjunto en materia del control MPC con la Publicación "Model Predictive Control" ó control predictivo por modelos, Editorial Springer-Verlag London Ltd., 1999, mientras que la Publicación "System Identification, Theory for the User (Identificación de Sistemas, Teoría para el Usuario) de Lennart Ljung, Editorial Prentice-Hall, Inc., Segunda Edición 1999, representa la obra clásica para la aplicación de unos modelos dinámicos en un proceso que necesita, efectivamente, la implementación del control MPC.

40 (0119) La tecnología de MPC es más frecuentemente empleada en un modo de supervisión para llevar a efecto las operaciones, que normalmente son efectuadas por el operador, menos sustituir el control básico de las regulaciones oficiales, implementado por el sistema DCS. La tecnología de MPC tiene la capacidad de equilibrar

automáticamente los objetivos y los condicionantes de proceso entre si interferentes por aplicar unas técnicas matemáticas para facilitar unos óptimos puntos de ajuste para el proceso.

(0120) El control MPC comprende normalmente los aspectos siguientes:

Modelos dinámicos: Un modelo dinámico para la predicción de, por ejemplo, un modelo dinámico no lineal. Este modelo es fácilmente desarrollado por emplear un ensayo paramétrico y un ensayo de fases de la planta. La alta calidad del modelo dinámico es la clave para una optimización y unas prestaciones de control excelentes.

Identificación dinámica: Las dinámicas del proceso, ó la forma en la que el proceso cambia con el tiempo, son identificadas empleando unos ensayos de fases de la planta. En base a estos ensayos de fases, se emplea un algoritmo - que está basado en la optimización - con el fin de identificar las dinámicas de la planta.

Optimización de régimen permanente: El optimizador de régimen permanente es empleado para encontrar el punto óptimo para el proceso.

Control dinámico: El controlador dinámico es empleado con el fin de computar los movimientos de control óptimos para una solución de régimen permanente. Los movimientos de control son computados empleando un optimizador. Este optimizador se emplea para reducir al mínimo una función de costo, especificada por el usuario, la cual es sometida a un conjunto de exigencias. La función de costo es computada aplicando el modelo dinámico del proceso. En base al modelo, a la función de costo y a las exigencias pueden ser computados los óptimos movimientos de control para el proceso.

Retroalimentación dinámica: El controlador MPC emplea una retroalimentación dinámica para actualizar los modelos. Por aplicarse la retroalimentación pueden ser reducidos en gran medida los efectos de perturbaciones, de una discrepancia de modelos y los ruidos de sensores.

Aspectos de avanzada sintonización: El controlador MPC proporciona un completo conjunto de posibilidades de sintonización. Para la manipulación de variables, el usuario puede ajustar el valor y coeficiente deseados, el factor de penalidad de movimiento, un límite inferior y superior, la velocidad de cambio de condicionantes así como unas exigencias superiores e inferiores. El usuario también puede emplear el valor de salida del optimizador de régimen permanente para ajustar el valor deseado de una variable de manipulación. Para las variables controladas puede el usuario ajustar el valor y coeficiente deseados, los errores en el peso, unos límites así como unas exigencias priorizadas en cuanto a la trayectoria de la chimenea.

Ambiente de simulación: Todo ambiente de simulación que no sea on-line es proporcionado para un ensayo y una sintonización iniciales del controlador. El ambiente de simulación permite investigar sobre discrepancias entre modelos y sobre la capacidad del rechazo de perturbaciones.

Sistema on-line: El algoritmo de control del MPC está implementado, de forma preferente, en un servidor de software estándar que puede funcionar con un normal sistema operativo de tipo comercial. El servidor se comunica con un distribuido sistema de control DCS a través de una interfase normal. De una manera conveniente, los ingenieros y operadores pueden observar las salidas de predicción del algoritmo del sistema MPC empleando una interfase gráfica de usuario (GUI).

Manejo de errores graves: El usuario especifica la manera en la que el algoritmo de MPC ha de responder a errores en los datos de entrada y en los datos de salida. El controlador puede ser desconectado al presentarse errores en las variables críticas ó el último buen valor conocido puede ser empleado para unas variables no críticas. Por manejar de manera apropiada los errores puede ser aumentado al máximo el tiempo de funcionamiento de controlador.

Analizadores virtuales on-line: En los casos en los cuales no están disponibles las mediciones directas de una variable del proceso es así que el entorno puede proporcionar la infraestructura para la implementación de un virtual analizador on-line (VOA) que está basado en el software. Por utilizar esta herramienta del control MPC puede ser desarrollado un modelo de la deseada variable del proceso, empleando para ello datos histórico procedentes de la planta, incluidos los datos de laboratorio, si fuera necesario. Este modelo puede luego ser alimentado con unas variables de proceso en tiempo real, y el mismo puede pronosticar, en tiempo real, una no medida variable del proceso. Esta predicción puede ser empleada más tarde en el controlador predictivo de modelos.

Optimización del proceso de desulfuración WFGD

(0121) Tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle, y de acuerdo con la presente invención, la eficiencia en la eliminación del SO₂ puede ser mejorada. Quiere decir esto que la velocidad cantidad de eliminación del SO₂ de la unidad puede ser incrementada al máximo y/ó ser optimizada cumpliendo, no obstante, con las impuestas ó deseadas exigencias como, por ejemplo, el condicionante de la pureza del yeso, el límite de las emisiones instantáneas y el límite de las emisiones del promedio rotativo. Además, también el costo de la operación pueden ser, alternativamente, reducidos al mínimo ó optimizados. Por ejemplo, las bombas del lodo pueden ser desconectadas automáticamente al reducirse la carga de gas de combustión para la desulfuración WFGD. Adicionalmente, también el flujo del aire de oxidación y la eliminación del SO₂ pueden, alternativamente, ser ajustados de forma dinámica para evitar las condiciones de una obstrucción por piedra caliza. Por emplearse el controlador MPC aquí descrito, el proceso de WFGD puede ser efectuada más estrechamente a las exigencias y se pueden conseguir unas mejoradas prestaciones en comparación con los procesos de WFGD controladas de una manera convencional.

(0122) Las Figuras 5A y 5B muestran unas casillas, 500 y 550, respectivamente, de las exigencias ó condicionantes. Tal como indicado, por identificarse las exigencias del proceso y del equipo, 505 hasta 520, y por

aplicarse las relaciones de régimen permanente - basadas en el proceso - entre las múltiples variables independiente (MVs) y las identificadas exigencias, es decir, las variables dependientes/controladas, existe la posibilidad de trazar las exigencias sobre un "espacio" común en términos de las variables MVs. Este espacio es efectivamente un espacio n-dimensional, en el cual n es igual al número de grados de libertad ó al número de las manipuladas MVs en relación con el problema. Sin embargo, si por razones de ilustración, suponemos que tengamos dos grados de libertad, es decir dos de las MVs, entonces es posible representar las exigencias del sistema y las relaciones, empleando un trazado bidimensional (X-Y).

(0123) De una manera conveniente, las exigencias con respecto al proceso y al equipo están indicadas en un espacio de solución no-cero que está representado en forma de las zonas de una operación factible 525. Cualquier solución de dentro de este espacio cumplirá con las exigencias impuestas al subsistema de WFGD.

(0124) Todos los subsistemas de WFGD manifiestan algún grado de variabilidad. Haciendo referencia a la Figura 5A, la típica estrategia convencional para las operaciones consiste en colocar la normal variabilidad del subsistema de WFGD sencillamente dentro de la zona cómoda 530 del espacio de soluciones factibles 525; esto asegurará, por regla general, un funcionamiento seguro. Efectuando las operaciones dentro de esta zona cómoda 530, las operaciones son mantenidas de forma alejada de las áreas de una operación no factible/no deseada, es decir, alejadas de unas áreas situadas por fuera de la zona de soluciones factibles 525. Por regla general, en los límites ó cerca de los límites de unas exigencias, que pueden ser medidas, se disparan las alarmas de un distribuido sistema de control DCS con el fin de alertar a los operadores sobre un problema pendiente.

(0125) Si bien es cierto que cualquier punto dentro del espacio de soluciones factibles 525 cumple con las exigencias del sistema, 505 hasta 520, algunos puntos, sin embargo, dentro de este espacio 525 no tendrán los mismos costos de operación, la misma eficiencia en la absorción del SO₂, ni la misma capacidad de producción del subproducto de yeso. Con el fin de aumentar al máximo el beneficio, la eficiencia en la absorción del SO₂ ó la producción/ calidad del subproducto yeso ó para reducir al mínimo los costos, es necesaria la identificación del punto económicamente óptimo para las operaciones dentro del espacio de las soluciones factibles 525.

(0126) En conformidad con la presente invención, las variables del proceso ó el costo ó el beneficio de mantener ó de cambiar los valores de estas variables pueden ser empleados, por ejemplo, para crear una función de objetivo que representa beneficios que en algunos casos han de ser considerados como costos negativos. Tal como representado en la Figura 5B, por ser aplicadas unas técnicas de programación de soluciones, las cuales pueden ser de forma lineal, de forma cuadrada ó de forma no lineal, existe la posibilidad de identificar, tal como esto será descrito más bajo, un punto de óptima solución factible 555 como, por ejemplo, el punto de la solución del menor costo ó del máximo beneficio dentro de la zona de las operaciones factibles 525. Teniendo en cuenta que las exigencias y/ó los costos pueden cambiar en cualquier momento, resulta beneficioso volver a identificar el punto de óptima solución factible 555 en tiempo real, es decir, cada vez que actúa el controlador MPC.

(0127) Por consiguiente, la presente invención facilita el automático re-enfoque del objetivo de la operación del proceso desde el punto de una operación convencional dentro de la zona cómoda 530 hasta el punto de operación óptima 555 y desde este punto de operación óptima 555 hasta otro punto de operación óptima al producirse una modificación en las exigencias en cuanto a los costos. Una vez determinado el punto óptimo, se calculan los cambios en los valores de las variables MVs, los cuales son necesarios para desplazar el proceso hacia el punto de operación óptima. Estos nuevos valores de variables MV se convierten en valores de objetivo. Estos valores de objetivo son unos valores de régimen permanente y los mismos no cuentan para las dinámicas del proceso. Sin embargo, con el fin de llevar el proceso de una manera más segura a efecto, también han de ser controladas y manejadas las dinámicas del proceso, lo cual no lleva al punto siguiente.

(0128) Con el fin de desplazar el proceso desde el punto de operación convencional hasta el nuevo punto de operación óptima son aplicados los modelos predicativos de proceso, la retroalimentación y la ejecución de alta frecuencia. Empleando las técnicas de MPC es pronosticado el recorrido ó la trayectoria dinámica de las controladas variables (CVs). Por emplearse esta predicción y por manejarse los manipulados ajustes MV - no solamente en el momento actual, sino también en el futuro, es decir, en el futuro a corto plazo - existe la posibilidad de manejar el recorrido dinámico de las controladas variables CVs. Los nuevos valores de objetivo para las CVs pueden ser calculados. En este caso, también el error dinámico por el deseado horizonte temporal puede ser calculado como la diferencia entre el recorrido pronosticado para la CV y los nuevos valores de objetivo de la CV. Una vez más es así que, por aplicarse la teoría de optimización, puede ser calculado un recorrido óptimo que reduce el error al mínimo. Ha de tenerse en cuenta que, en la práctica, al ingeniero se le permite con preferencia evaluar los errores de tal manera que algunas variables CVs puedan ser controladas más estrechamente que otras. Los modelos predictivos de proceso también permiten el control del recorrido ó de la trayectoria desde un punto de operación hasta el siguiente, de tal manera que puedan ser evitados problemas con la dinámica mientras se esté pasando hacia el siguiente punto de operación óptima.

(0129) Como resumen, la presente invención permite que las operaciones puedan ser efectuadas en virtualmente cualquier punto dentro de la zona de operaciones factibles 525, tal como esto pueda ser necesario para optimizar el proceso con el fin de obtener virtualmente cualquier resultado deseado. Esto quiere decir que el proceso puede ser optimizado, siempre que el objetivo consista en obtener las más reducidas emisiones posibles, la más alta calidad ó cantidad del subproducto, los más bajos costos de operación así como cualquier otro resultado.

(0130) Con el fin de poder acercarse lo más estrechamente posible al punto de operación óptima 555, el control MPC reduce, de forma preferente, la variabilidad del proceso, y esto de tal modo que unas pequeñas desviaciones no puedan proporcionar violaciones de los condicionantes. Por ejemplo, a través de la aplicación de los modelos predictivos de proceso, de la retroalimentación y de una ejecución de alta frecuencia, el control MPC puede reducir drásticamente la variabilidad de un controlado proceso.

Modelos de régimen permanente y modelos dinámicos

(0131) Tal como descrito en los párrafos anteriores, para el controlador MPC son empleados un modelo de régimen permanente y un modelo dinámico. En este apartado se describen estos modelos con más detalles.

Modelos de régimen permanente: El régimen ó estado permanente de un proceso para cierto conjunto de datos de entrada es el estado que queda facilitado por el conjunto de unos valores de proceso asociados, el que el proceso podría conseguir si todos los datos de entrada puedan ser mantenidos constantes durante un tiempo prolongado, de tal manera que los anteriores valores de los datos de entrada ya no podrían afectar más al estado. Para una desulfuración WFGD, a causa de la gran capacidad y de una reacción relativamente lenta del cristizador dentro de la unidad del procesamiento, el tiempo para llegar al régimen permanente es normalmente del orden de 48 horas. Un modelo de régimen permanente es empleado para pronosticar los valores de proceso, asociados al régimen permanente por un conjunto de datos de entrada para el proceso.

Modelo de régimen permanente de primeros principios: Un planteamiento para desarrollar un modelo de régimen permanente consiste en emplear un conjunto de ecuaciones que son deducidas en base a los conocimientos de la ingeniería del proceso. Estas ecuaciones pueden representar unas conocidas relaciones fundamentales entre los datos de entrada y los datos de salida del proceso. Unas conocidas ecuaciones de física, química, electricidad y de ingeniería pueden ser aplicadas para la deducción de este conjunto de ecuaciones. Debido a que estos modelos están basados en unos conocidos principios, los mismos son denominados modelos de primeros principios.

(0132) La mayoría de los procesos están diseñados primitivamente para el empleo de técnicas y modelos de primer principio. Por regla general, estos modelos son lo suficientemente exactos para poder proporcionar una operación segura dentro de la zona cómoda, tal como descrito anteriormente en relación con la Figura 5A. Sin embargo, la preparación de unos modelos de gran exactitud y basados en los primeros principios consume frecuentemente mucho tiempo y supone unos elevados costos. Además, unas desconocidas influencias ejercen muchas veces unos significativos efectos sobre la exactitud de los modelos de primeros principios. Por consiguiente, muchas veces son aplicados unos planteamientos alternativos para confeccionar unos modelos de primeros principios de gran exactitud.

(0133) Modelos empíricos: Los modelos empíricos están basados en unos datos efectivos, recopilados del proceso. El modelo empírico es confeccionado aplicando una técnica regresiva de datos para determinar la relación entre los datos de entrada y los datos de salida del modelo. Los datos son recopilados con frecuencia de unas series de ensayos de la planta en los cuales las entradas individuales son desplazadas para guardar los efectos que las mismas ejercen sobre las salidas. Estos ensayos de la planta pueden durar de días hasta semanas con el fin de recopilar los datos suficientes para los modelos empíricos.

(0134) Modelos empíricos lineales: Los modelos empíricos lineales son confeccionados por ajustar una línea, ó un plano en unas dimensiones más altas, para fijar un conjunto de datos de entrada y de salida. Los algoritmos para establecer estos modelos están normalmente disponibles; por ejemplo, Excel puede proporcionar un algoritmo de regresión para fijar una línea en un conjunto de datos empíricos. Modelos de red neuronal: Los modelos de red neuronal representan otra forma de modelos empíricos. Las redes neuronales permiten unas curvas más complejas, en lugar de una línea, para ser fijadas en un conjunto de datos empíricos. La arquitectura y el algoritmo de ejercitación para un modelo de red neuronal están biológicamente inspirados. Una red neuronal se compone de nudos que establecen la básica funcionalidad de una neurona. Estos nudos se encuentran conectados entre si por pesos que determinan las interacciones básicas de las neuronas dentro de un cerebro. Estos pesos son determinados empleando un algoritmo de ejercitación que imita dentro del cerebro la acción de aprender. Al emplearse unos modelos, basados en redes neuronales, puede ser desarrollado un modelo que es mucho más rico y más complejo que el modelo que puede ser obtenido por el empleo de unos modelos empíricos lineales. Las relaciones del proceso entre los datos de entrada (X_s) y los datos de salida (Y_s) pueden estar representadas por emplear modelos de redes neuronales. En este documento, unas futuras referencias a redes neuronales ó a modelos de redes neuronales han de ser interpretadas como modelos de unos procesos basados en redes neuronales.

(0135) Modelos híbridos: Los modelos híbridos implican una combinación de elementos entre los primeros principios ó unas relaciones conocidas y unas relaciones empíricas. Por ejemplo, puede ser conocida la forma de la relación entre X_s e Y (elemento de primer principio). La relación ó las ecuaciones pueden comprender una cantidad de constantes. Algunas de estas constantes pueden ser determinadas aplicando los conocimientos de primeros principios. Para otras constantes sería muy difícil y/o muy costoso determinarlas de los primeros principios. Sin embargo, resulta relativamente fácil y poco costoso emplear los efectivos datos del proceso para X_s e Y así como los conocimientos de primeros principios para construir un problema de regresión con el fin de determinar los valores de las desconocidas constantes. Las constantes desconocidas representan dentro del

modelo híbrido el elemento empírico/regresivo. La regresión es mucho más pequeña que un modelo empírico, y la naturaleza empírica de un modelo híbrido es mucho menor debido a la forma del modelo y al hecho de que algunas constantes son determinadas en base a los primeros principios que rigen las relaciones físicas.

5 (0136) Modelos dinámicos: Los modelos dinámicos representan los efectos que los cambios en los datos de entrada ejercen con el tiempo sobre los datos de salida. Mientras que los modelos de régimen permanente se emplean solamente para pronosticar el estado remanente final de un proceso, los modelos dinámicos son empleados para pronosticar el recorrido que será tomado desde un estado de régimen permanente hasta otro estado. Estos modelos dinámicos pueden ser desarrollados por aplicar los conocimientos de primeros principios,
10 unos datos empíricos así como una combinación de los dos. Sin embargo, en la mayoría de los casos estos modelos son desarrollados empleando los datos empíricos recopilados de una serie de ensayos de fases de las importantes variables que afectan al régimen del proceso.

(0137) Modelo Perfeccionador de Energía Pegaso: La mayoría de los controladores MPC solamente permiten el empleo de modelos empíricos lineales, es decir, el modelo que se compone de un modelo de régimen permanente empírico lineal y de un dinámico modelo empírico lineal. El perfeccionador de energía Pegaso permite que sean combinados entre sí los modelos lineales, los modelos no lineales, los modelos empíricos y los modelos de primeros principios para constituir el modelo final que es usado para el controlador y el que, por consiguiente, es empleado de forma referente para implementar el control MPC. En la Patente Núm. 5.933.345 de los Estados
15 Unidos está descrito un algoritmo para combinar entre sí distintos tipos de modelos con el fin de proporcionar un modelo definitivo para el perfeccionador de energía Pegaso.
20

Arquitectura del subsistema de la desulfuración WFGD

25 (0138) La Figura 6 muestra un diagrama de bloques funcionales de la arquitectura de un subsistema WFGD con control por modelo predictivo. El controlador 610 lleva incorporado la lógica, necesaria para computar los puntos de ajuste en tiempo real para las manipuladas variables MVs 615 como, por ejemplo, el valor pH y el aire de oxidación de la WFGD 620. El controlador 610 toma como base para estas computaciones las observadas variables de proceso (OPVs) 625 como, por ejemplo, el estado de las variables MVs, las variables de perturbación (DVs) y las controladas variables (CVs). Para computar los puntos de ajuste de las manipuladas variables MVs 615 también será empleado, adicionalmente, un conjunto de valores de referencia (RVs) 640, que normalmente comprenden uno ó varios asociados parámetros de sintonización.
30

(0139) Como estimador 630, que con preferencia está constituido por un virtual analizador on-line (VOA), lleva incorporada la lógica necesaria para las estimadas variables de proceso (EPVs) 635. Estas EPVs son normalmente unas variables del proceso, las cuales no pueden ser medidas de forma exacta. El estimador 630 implementa la lógica con el fin de generar una estimación en tiempo real del estado operativo de las EPVs del proceso de la WFGD sobre la base de los valores actuales y de los valores históricos de las variables OPVs. Ha de tenerse en cuenta que las variables OPVs pueden comprender unas mediciones de proceso del distribuido sistema de control DCS y/o unas mediciones de laboratorio. A título de ejemplo, y tal como descrito anteriormente, la pureza del yeso puede estar determinada en base a mediciones del laboratorio. De una manera conveniente, este estimador 630 puede proporcionar las alarmas para los distintos tipos de problemas en el proceso de la WFGD.
35
40

(0140) La lógica del controlador 610 y del estimador 630 puede estar implementada dentro de un software ó de cualquier otra manera. Ha de tenerse presente que, en el caso de ser deseado, tanto el controlador como el estimador pueden estar fácilmente implementados dentro de un sencillo proceso de un ordenador, tal como esto es sabido por las personas familiarizadas con este ramo técnico.
45

Controlador de un control por modelos predictivos (MPCC)

50 (0141) De forma preferente, el controlador 610 de la Figura 6 queda implementado por emplear el controlador de un control por modelos predictivos (MPCC). Este MPCC proporciona en tiempo real un control dinámico de múltiples datos de entrada y de múltiples datos de salida del proceso de WFGD. El MPCC computa los puntos de ajuste para la regulación de las variables MVs en base a los valores de las observadas PVs 625 y a las estimadas PVs 635. El controlador MPCC de una desulfuración WFGD puede emplear cualquiera de estos valores, ó bien una combinación con uno ó con todos estos valores que quedan determinados por:
55

- * Probetas del valor pH;
- * Sensores de la densidad del lodo;
- 60 * Sensores de la temperatura;
- * Sensores del potencial de reducción de la oxidación (ORP);
- * Sensores del nivel del absorbedor;
- * Sensores del SO₂ de la entrada y de la salida/chimenea;
- * Sensores de la velocidad de entrada del gas de combustión;
- 65 * Análisis de laboratorio de la química del absorbedor (Cl, Mg, FI);
- * Análisis de laboratorio de la pureza del yeso;
- * Análisis de laboratorio de la trituración y de la pureza de la piedra caliza.

(0142) El controlador MPCC de la desulfuración WFGD también puede aplicar cualquiera de los puntos de ajuste, ó bien una combinación con uno ó con todos estos puntos de ajuste computados con el fin de controlar lo siguiente:

- 5 * El transportador de piedra caliza;
- * Los pulverizadores de piedra caliza
- * El flujo del lodo de piedra caliza;
- * Los alimentadores/válvulas de los aditivos/reactivos químicos;
- * Las válvulas ó los amortiguadores ó sopladores de control del flujo del aire de oxidación;
- 10 * El punto de ajuste ó la válvula para el valor pH;
- * Las bombas de reciclaje;
- * Las válvulas/bombas de adición y de eliminación del agua regenerada;
- * La composición química del absorbedor (Cl, Mg, Fl).

15 (0143) De esta manera, el controlador MPCC de la desulfuración WFGD puede controlar cualquiera de las siguientes y controladas variables CVs ó una combinación con una ó con todas estas CVs:

- * La eficiencia en la eliminación del SO₂;
- * La pureza del yeso;
- 20 * El valor pH;
- * La densidad del lodo;
- * El nivel de absorción;
- * La trituración y la pureza de la piedra caliza;
- * Los costos de la operación.

25 (0144) El planteamiento de un control MPC proporciona una flexibilidad en la óptima computación de todos los aspectos del proceso de la WFGD dentro de un solo controlador de tipo compuesto. Un primer reto para la operación de una desulfuración WFGD consiste en aumentar al máximo el beneficio de la operación y en reducir al mínimo las pérdidas por la operación, y esto por hacer equilibrar los siguientes objetivos que entre si competidores:

- 30 * Mantener la velocidad de la eliminación del SO₂ a un nivel apropiado con respecto al deseado límite de exigencias, es decir, a los límites del permiso ó, en su caso, a los límites que aumentan al máximo los créditos por la eliminación del SO₂;
- * Mantener la pureza del yeso a un valor apropiado con respecto al deseado límite de exigencias, es decir, al límite de la especificada pureza del yeso;
- 35 * Mantener los costos de la operación a un nivel apropiado con respecto al deseado límite, es decir, a unos costos mínimos para el consumo de electricidad.

40 (0145) La Figura 7 indica, a título de ejemplo, un control MPCC 700 que comprende tanto un controlador como un estimador, que son similares a los elementos descritos en relación con la Figura 6. Tal como esto será descrito a continuación con mayor detalle, este control MPCC 700 está en condiciones de equilibrar los objetivos, entre si competidores y anteriormente mencionados. Según una preferida forma de realización, el MPCC 700 lleva incorporado el perfeccionador de energía Pegaso, una lógica MPC así como unos modelos de redes basadas en neuronas; sin embargo, en lugar de éstos también podrán ser empleados, al ser esto deseado, otra lógica y unos modelos basados en redes no neuronales, tal como anteriormente comentado y como esto es sabido por las personas familiarizadas con este ramo técnico.

45 (0146) Según lo indicado en la Figura 7, el control MPCC 700 comprende una unidad de procesamiento 705 con múltiples vías de acceso de entrada/salida 715 y una unidad de disco de memoria 710. Esta unidad de disco de memoria 710 puede consistir en uno ó en varios dispositivos de cualquier tipo apropiado a tal fin, y la misma puede emplear la forma magnética, la forma electrónica, la forma óptica así como cualquier otra forma ó formas para un medio de memoria. También es evidente que, si bien aquí está indicado un número relativamente pequeño de las vías de acceso de entrada/salida, la unidad de procesamiento puede, sin embargo, comprender tantas vías de acceso de entrada/salida como sean necesarias para la particular forma de realización. También ha de tenerse en cuenta que pueden formar unos paquetes los datos del proceso - los que, procedentes del sistema del distribuido control DCS y de los puntos de ajuste, son enviados en retorno al DCS - con el fin de ser transmitidos como un solo mensaje, empleando para ello unos protocolos estándar de intercomunicación del ordenador y siendo la funcionalidad de la comunicación de datos, la cual sirve de base, esencial para la operación del control MPCC; los detalles de esta implementación están bien conocidos por las personas familiarizadas con este ramo técnico, y los mismos no son de relevancia para el problema de control aquí abordado. La unidad de procesamiento 705 se comunica con la unidad de disco de memoria 710 para memorizar y recuperar los datos a través de un enlace de comunicación 712.

50 (0147) El control MPCC 700 comprende también uno ó varios dispositivos de entrada de datos para aceptar las entradas del usuario, es decir, del operador. Tal como lo muestra la Figura 7, un teclado 720 y un ratón 725 facilitan la entrada manual de órdenes ó de datos a la unidad de procesamiento 705 a través de los enlaces de comunicación, 722 y 727, y de las vías de acceso de entrada/salida 715. El MPCC 700 comprende, asimismo, una visualización 730 para presentar la información al usuario. La unidad de procesamiento 705 comunica, por medio de

un enlace de comunicación 733, a la visualización 730 la información que ha de ser presentada al usuario. Aparte de facilitar la comunicación de las entradas, hechas por parte del usuario, las vías de acceso de entrada/salida 715 también facilitan - a través de los enlaces de comunicación, 732 y 734 - la comunicación a la unidad de procesamiento 705 de las entradas no efectuadas por el usuario, al igual que facilitan la comunicación de directrices, es decir, unas directrices de control generadas desde la unidad de procesamiento 705 a través de los enlaces de comunicación, 734 y 746.

Lógica de la unidad de procesamiento y modelos dinámicos

(0148) Según lo indicado en la Figura 8, la unidad de procesamiento 705 comprende un procesador 810, una memoria 820 y una interfase 830 con el fin de facilitar la recepción y la transmisión de las señales de entrada/salida 805 a través de los enlaces de comunicación, 732 hasta 736, de la Figura 7. La memoria 820 consiste normalmente en un tipo de memoria de acceso aleatorio (RAM). La interfase 830 facilita las interacciones entre el procesador 810 y el usuario por medio del teclado 720 y/o del ratón 725, al igual que entre el procesador 810 y otros dispositivos, tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle.

(0149) Tal como esto está indicado también en la Figura 8, la unidad de disco de memoria 710 tiene guardados la lógica de estimación 840, la lógica de predicción 850, la lógica generadora de control 860, un modelo de control dinámico 870 así como un modelo dinámico de estimación 880. La lógica guardada es ejecutada en conformidad con los modelos guardados para controlar el subsistema de WFGD con el fin de optimizar las operaciones, tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle. La unidad de disco de memoria 710 también comprende una memoria de datos 855 para guardar los datos recibidos y computados, como asimismo comprende la unidad de disco una base de datos 890 para mantener un histórico de las emisiones del SO₂.

(0150) En la Tabla 1, relacionada a continuación, está representada una matriz de control que indica los datos de entrada y los datos de salida que por el control MPCC 700 son empleados para equilibrar los tres objetivos, comentados más arriba.

Tabla 1: Matriz de control

	Eliminación del SO ₂	Pureza del yeso	Costo de operación
Manipuladas variables			
Valor pH	X	x	
Aire de sopladores		x	X
Bombas de reciclaje	X		X
VARIABLES DE PERTURBACIÓN			
Entrada del SO ₂			X
Velocidad gas de combustión			X
Cloruro	X	x	
Magnesio	X	x	
Fluoruros	X	x	
Trituración y pureza de la piedra caliza		x	X
Costo de la energía interna			X
Costo de la piedra caliza			X
Precio del yeso			X

(0151) Según la forma de realización, aquí descrita a título de ejemplo, el MPCC 700 es empleado para controlar las variables CVs, consistentes en la velocidad de eliminación del SO₂, en la pureza del yeso y en los costos de operación. Los puntos de ajuste para las variables MVs, consistentes en el nivel del valor pH, en la carga para el soplador del aire de oxidación y en la carga para las bombas de reciclaje, son manipulados con el fin de controlarlas CVs. Este MPCC 700 también tiene en consideración una cantidad de las variables de perturbación DVs.

(0152) El MPCC 700 tiene que equilibrar los tres objetivos, competidores entre si y asociados a las variables CVs, observando para ello un conjunto de exigencias. Estos objetivos, competidores entre si, son formulados en una función de objetivo que es reducida al mínimo, aplicando para ello una técnica de programación de optimización que no es lineal y que se encuentra codificada dentro de la lógica del MPCC. Por introducir unos factores de peso para cada uno de estos objetivos empleando para ello, por ejemplo, el teclado 720 ó el ratón 725, el operador del subsistema de WFGD ú otro usuario pueden especificar la relativa importancia de cada objetivo en función de las circunstancias particulares.

(0153) En determinadas circunstancias, por ejemplo, la velocidad de eliminación del SO₂ puede ser de mayor peso que la pureza del yeso y que los costos de operación, y los costos de operación pueden ser de mayor peso que la pureza del yeso. En otras circunstancias, los costos de la operación pueden tener un mayor peso que la pureza del yeso y que la velocidad de eliminación del SO₂, mientras que la pureza del yeso puede ser de mayor peso que la velocidad de eliminación del SO₂. En todavía otras circunstancias puede ser que la pureza del yeso tenga un

mayor peso que la velocidad de eliminación del SO₂ y que los costos de la operación. Cualquier número de las combinaciones entre las ponderaciones puede ser especificado.

5 (0154) El MPCC 700 controlará las operaciones del subsistema de WFGD en base a las ponderaciones especificadas, de tal manera que este subsistema pueda operar a un punto óptimo como, por ejemplo, al punto óptimo 555, indicado en la Figura 5B, siendo tenido en cuenta todavía el aplicable conjunto de condicionantes como, por ejemplo, las limitaciones 505 hasta 520, indicadas en la Figura 5B.

10 (0155) Para este particular ejemplo, las exigencias son las que a continuación se identifican en la Tabla 2. Estas exigencias ó limitaciones son normalmente del tipo que está asociado a las anteriormente descritas variables CVs y MVs.

Tabla 2: Exigencias de las controladas variables y de las manipuladas variables

Controladas variables	Exigencia mínima	Exigencia máxima	Deseado valor
Eliminación del SO ₂	90%	100%	Aumentar al máximo
Pureza del yeso	95%	100%	Reducir al mínimo
Costo de operación	Ninguna	Ninguna	Reducir al mínimo
Manipuladas variables	Exigencia mínima	Exigencia máxima	
Valor pH	5.0	6.0	Computado
Aire de soplador	0%	100%	Computado
Bomba de reciclaje N° 1	Desconectada	Conectada	Computado
Bomba de reciclaje N° 2	Desconectada	Conectada	Computado
Bomba de reciclaje N° 3	Desconectada	Conectada	Computado
Bomba de reciclaje N° 4	Desconectada	Conectada	Computado

15 **Modelo de control dinámico**

(0156) Tal como anteriormente comentado, el MPCC 700 requiere un modelo de control dinámico 870, con la estructura de entrada y salida que está indicada en la matriz de control de la Tabla 1. Con el fin de desarrollar un modelo dinámico de este tipo, inicialmente son desarrollados un modelo de primeros principios y/ó un modelo empírico sobre la base de unos ensayos de planta del proceso de WFGD. El modelo de primeros principios y/ó el modelo empírico pueden ser desarrollados por aplicarse las técnicas anteriormente discutidas.

25 (0157) En el caso del ejemplo del subsistema de WFGD en discusión es desarrollado, de forma preferente, un modelo de régimen permanente (modelo de primeros principios ó modelo empírico) del proceso de la desulfuración WFGD para la velocidad en la eliminación del SO₂ y para la pureza del yeso. Aplicando el planteamiento de los primeros principio, se desarrolla un modelo en base a las conocidas relaciones fundamentales entre la entrada de datos y la salida de datos del proceso de WFGD. Por aplicarse un planteamiento de red neuronal, un modelo de régimen permanente para la velocidad de eliminación del SO₂ y para la pureza del yeso es desarrollado por el hecho de recopilar unos datos empíricos, procedentes del proceso actual y a distintos regimenes de funcionamiento. Un modelo basado en una red neuronal, el cual puede captar la falta de linealidad del proceso, es sometido a pruebas usando para ello estos datos empíricos. También aquí ha de tenerse en cuenta que si bien un modelo en base a una red neuronal puede ser preferido para algunas implementaciones, el empleo de un tal modelo no es, desde luego, obligatorio. En lugar del mismo puede ser empleado, si esto fuera necesario, un modelo basado en una red no neuronal, el cual incluso podría ser preferido para ciertas implementaciones.

40 (0158) Además, el modelo de régimen permanente para los costos de operación puede ser desarrollado a partir de los primeros principios. De una manera sencilla, son empleados unos factores de costos para desarrollar un modelo del total de los costos. Según el ejemplo de implementación aquí discutido, el costo de varias materias primas - como, por ejemplo, la piedra caliza - así como el costo de la energía eléctrica son multiplicados por sus respectivas cantidades de empleo para así confeccionar el modelo del costo total. Un modelo de ingresos es desarrollado por multiplicarse el precio del crédito por la eliminación del SO₂ por las toneladas de eliminación del SO₂ y por multiplicarse el precio del yeso por las toneladas de yeso. Los beneficios (ó las pérdidas) operacionales pueden ser determinados por restarse los costos de los ingresos. En función del régimen de operación de las bombas (velocidad fija contra una velocidad variable), la optimización de la línea de bombas puede implicar unas decisiones binarias de CONECTADO/DESCONECTADO; esto puede necesitar una secundaria fase de optimización con el fin de evaluar las diferentes opciones para la línea de bombas.

50 (0159) Aunque puedan ser desarrollados unos exactos modelos de régimen permanente, que pueden ser apropiados para una solución basada en una optimización de régimen permanente, estos modelos no comprenden, sin embargo, unas dinámicas del proceso y, por consiguiente, los mismos no son particularmente apropiados para su uso en el control MPCC 700. Por lo tanto, en el subsistema de WFGD son efectuadas unas fases de ensayo con el fin de recopilar los datos efectivos de una dinámica del proceso. A continuación, los datos obtenidos como respuesta a los ensayos de fases son empleados con el fin de confeccionar un modelo empírico de control dinámico 870 para el subsistema de WFGD, el cual es guardado por el procesador 810 en la unidad de disco de memoria 710, tal como esto está indicado en la Figura 8.

Modelo dinámico de estimación y analizador virtual on-line

5 (0160) La Figura 6 indica la manera en la que un estimador - como, por ejemplo, el estimador incorporado en el control de MPCC 700 - es empleado para el avanzado control de conjunto del proceso de la desulfuración WFGD. En el control de MPCC 700, el estimador tiene con preferencia la forma de un analizador virtual on-line (VAO). La Figura 9 indica más detalles del estimador, incorporado en MPCC 700.

10 (0161) Tal como esto está indicado en la Figura 9, las variables MVs y DVs observadas son introducidas en el modelo empírico de estimación dinámica 880 para el subsistema de WFGD, el cual es usado para ejecutar la lógica de estimación 840 en el procesador 810. A este efecto, el procesador 810 ejecuta la lógica de estimación 840 en conformidad con el modelo de estimación dinámica 880. En este caso, la lógica de estimación 840 computa los actuales valores de la variable CVs, es decir, la eficiencia en la eliminación del SO₂, la pureza del yeso y los costos de operación.

15 (0162) La Tabla 3 indica la estructura para el modelo de estimación dinámica 880. Aquí debe tenerse consideración que la matriz de control y el modelo de estimación dinámica 880, empleados en el MPCC 700, tienen la misma estructura.

20 **Tabla 3: Model de proceso para el estimador**

	Eliminación del SO ₂	Pureza del yeso
Manipuladas variables		
Valor pH	X	x
Aire del soplador		x
Bomba de reciclaje	X	
Variables de perturbación		
Entrada del SO ₂		
Velocidad del gas de combustión	x	
Cloruro	x	x
Magnesio	x	x
Fluoruro		x
Trituración y pureza de la piedra caliza		x

25 (0163) Los datos de salida de la lógica de estimación 840 por ejecutarse la misma son unos valores de bucle abierto para la eliminación del SO₂ y para la pureza del yeso. El modelo de estimación dinámica 880 para el virtual analizador on-line (VOA) es desarrollado por aplicarse el mismo planteamiento como anteriormente descrito para el desarrollo del modelo de control dinámico 870. Ha de tenerse en cuenta que, si bien el modelo de estimación dinámica 880 y el modelo de control dinámico 870 son esencialmente iguales, los modelos son empleados, sin embargo, para unas finalidades muy distintas. El modelo de estimación dinámica 880 es empleado por el procesador 810 para ejecutar la lógica de estimación 840 con el fin de generar una predicción exacta de los valores efectivos de las variables de proceso (PVs), es decir, las estimadas variables CVs 940. El modelo de control dinámico 870, sin embargo, es empleado por el procesador 810 para ejecutar la lógica de predicción 850 con el fin de computar de forma óptima los puntos de ajuste 615 de las manipuladas variables MVs, los cuales están indicados en la Figura 6.

35 (0164) Según lo indicado en la Figura 9, a partir del bloque de estimación 920 está previsto un bucle de retroalimentación 930 que representa las estimadas variables CVs, generadas por el procesador 810 como resultado de la ejecución de la lógica de estimación 840. De este modo, la mejor estimación de las variables CVs es pasada, por medio de este bucle de retroalimentación 930, hacia el modelo de estimación dinámica 880. La mejor estimación de las variables CVs, procedente de la anterior repetición y efectuada por parte del estimador, es empleada como el punto de iniciación para ajustar el modelo de estimación dinámica 880 a la actual repetición.

40 (0165) El bloque de validación 910 representa la validación de los valores de las observadas variables CVs 950, procedentes de, por ejemplo, unas mediciones por sensor y de los análisis de laboratorio por parte del procesador 810, aplicando para ello los resultados de la ejecución de la lógica de estimación 840, de acuerdo con el modelo de estimación dinámica 880, como asimismo representa este bloque la validación de las observadas variables MVs y Dvs 960. La validación, representada por el bloque 910, es también empleada con el fin de identificar las condiciones de una potencial obstrucción por piedra caliza. Por ejemplo, al representar la observada variable MVs un valor pH, medido por uno de los sensores de valor pH, la validación 910 del medido valor pH, basado en un valor pH estimado en conformidad con el modelo de estimación dinámica 880, puede reflejar que esté fallando el sensor del valor pH. Si la eliminación del SO₂ ó la pureza del yeso ó el valor pH observados quedan identificados como errores, el procesador 810 no empleará este valor en la estimación 920. En lugar de ello, será empleado un valor de sustitución, con preferencia el valor de salida y resultante de la estimación, efectuada en base al modelo de estimación dinámica. Adicionalmente, puede ser enviada una señal de alarma al sistema del distribuido control DCS.

(0166) Para poder computar la estimación 920, el procesador 810 combina el resultado de la ejecución de la lógica de estimación 840, el cual está basado en el modelo de estimación dinámica 880, con las observadas y validadas variables CVs. Para combinar el resultado de la estimación con los datos, observados y validados, es empleado de forma preferente un filtro de tipo Kalman. En este caso, la validada velocidad en la eliminación del SO₂, la cual es computada por los sensores de entrada y de salida del SO₂, es combinada con el generado valor de la velocidad de eliminación para producir un valor estimado de la eliminación real del SO₂. Debido a la exactitud de los sensores del SO₂, la lógica de estimación 840 tiene una mayor inclinación hacia la versión de filtración de los datos observados, en lugar de los datos generados.

(0167) La pureza del yeso es medida, como máximo, solamente cada par de horas. El procesador 810 también combinará las nuevas observaciones en la pureza del yeso con el generado valor de estimación de la pureza del yeso. Durante los períodos, que caen entre las mediciones de muestreo del yeso, el procesador 810 funcionará - de acuerdo con el modelo de estimación dinámica 880 - con unas actualizadas estimaciones de bucle abierto para la pureza del yeso, las cuales están basadas en unos cambios en las observadas variables MV y DVs 960. El procesador 810 también puede implementar para la pureza una estimación de tiempo real.

(0168) Finalmente, el procesador 810 ejecuta la lógica de estimación 840 en conformidad con el modelo de estimación dinámica 880 con el fin de computar los costos de operación de la desulfuración WFGD. Teniendo en cuenta que no existe ninguna medición directa on-line de los costos, el procesador 810 ha de implementar, necesariamente, una estimación de tiempo real de los costos de operación.

Dirección de las emisiones

(0169) Tal como mencionado anteriormente, los permisos oficiales para las operaciones con emisiones, los cuales son concedidos en los Estados Unidos, establecen unos límites tanto para las emisiones instantáneas como para las emisiones de un promedio rotativo. Existen dos clases de problemas relacionados con las emisiones del promedio rotativo, los cuales son abordados convenientemente por el control MPCC 700 para controlar el subsistema de WFGD. El primer tipo de problema se presenta al ser la ventana de tiempo del promedio rotativo igual ó inferior al horizonte de tiempo de la lógica de predicción 850 que es ejecutada por el procesador 810 del control MPCC 700. El segundo tipo de problema se presenta al ser la ventana de tiempo del promedio rotativo mayor que el horizonte de tiempo de la lógica de predicción 850.

Arquitectura de MPCC 700 a un solo nivel

(0170) El primer tipo de problema, el problema de una ventana de tiempo corta, es resuelto por adaptar la construcción normal del MPCC 700 de tal manera que el promedio rotativo de las emisiones pueda ser integrado como una adicional variable CV en el control implementado por el control MPCC 700. Más concretamente, la lógica de predicción 850 y la lógica generadora de control 860 tratarán la condición del régimen permanente como una exigencia del proceso, la cual tiene que ser mantenida al límite del permiso ó bien por debajo del mismo, en lugar de tratarla como una exigencia económica, y estas lógicas también hacen respetar un recorrido de control dinámico que dentro de la aplicable ventana de tiempo mantiene los actuales y los futuros valores del promedio rotativo al límite del permiso ó bien por debajo del mismo. De esta manera, el control MPCC 700 está equipado con una configuración de sintonización para el promedio rotativo de las emisiones.

Consideración de las variables de perturbación

(0171) Además, las variables de perturbación DVs para unos factores como, por ejemplo, los acontecimientos ó incidencias planificados durante el funcionamiento - como pueden ser, por ejemplo, los cambios en la carga los que, dentro del aplicable horizonte, tendrán un impacto sobre las emisiones - son computadas para la lógica de predicción 850 y, por consiguiente, para el control de MPCC 700 del proceso de WFGD. En la práctica, las efectivas DVs, que en la unidad de disco de memoria 710 están guardadas como parte integrante de los datos 855, podrán variar tanto según el tipo del subsistema de WFGD como en función de la particular filosofía de operación adoptada para el subsistema como, por ejemplo, carga básica frente a desviaciones en la carga. Las variables DVs pueden ser ajustadas, de vez en cuando, por el operador a través de una entrada de datos, empleado para ello el teclado 720 y el ratón 725, ó por la propia lógica generadora de control 860 ó bien por un sistema de planificación externo (no indicado) y por medio de la interfase 830.

(0172) Sin embargo, las variables DVs no tienen, por regla general, una configuración que pueda ser ajustada fácilmente por parte del operador ó de otros usuarios. Por consiguiente, de forma preferente está prevista una herramienta de interfase del plan de operaciones como parte integrante de la lógica de predicción 850, esto con el fin de ayudarle al operador ó a otro usuario en el ajuste de las DVs y en el mantenimiento de las mismas.

(0173) Las Figuras 11A y 11B indican la interfase, presentada en la visualización 730 para introducir un corte ó una parada planificados. Según lo indicado en la Figura 11A, está presentada una pantalla 1100 que visualiza para el operador ó para otro usuario tanto los proyectados factores de funcionamiento del sistema de generación de energía como los proyectados factores de funcionamiento del subsistema WFGD. También se indican aquí unos botones que le permitan al usuario introducir uno ó más nuevos cortes planificados así como visualizar previamente las entradas de los cortes planificados, a efectos de una revisión ó modificación.

(0174) Si el botón, que le permite al usuario introducir un corte planificado, es seleccionado mediante el ratón 725, al usuario es presentada la pantalla 1110, indicada en la Figura 11B. En este caso, el usuario puede introducir, por medio del teclado 720, varios detalles en relación con el nuevo corte planificado, tal como indicado en la Figura. Por hacer clic en el previsto botón para añadir los cortes, el nuevo corte planificado es sumado como una DVs, y el mismo es tenido en cuenta para la lógica de predicción 850. La lógica, que implementa esta interfase, ajusta las apropiadas DVs de tal manera que el plan de futuras operaciones pueda ser comunicado a la unidad de procesamiento 705 del control MPCC.

(0175) Cualquiera que sea el tipo de las actuales DVs, la función de las DVs será siempre la misma y ésta consiste en encauzar el impacto de los planificados acontecimientos de la operación hacia la lógica de predicción 850 que entonces puede ser ejecutada por el procesador MPCC 810 con el fin de pronosticar la variable CV de la futura dinámica y de las condiciones del régimen permanente para unas emisiones del tipo de promedio rotativo. Por consiguiente, el control MPCC 700 ejecuta la lógica de predicción 850 para el pronosticado promedio rotativo de las emisiones. A su vez, el pronosticado promedio rotativo de las emisiones es empleado como el dato de entrada para la lógica generadora de control 860 que es ejecutada por el procesador MPCC 810 con el fin de tener en cuenta, dentro del plan de los controles, las proyectadas incidencias de la operación. De este modo, el control MPCC 700 está provisto de una función de sintonización para el promedio rotativo de las emisiones, y esto a la vista de los planificados acontecimientos de la operación, y, por consiguiente, el mismo está provisto de la capacidad de controlar el funcionamiento de la desulfuración dentro del permiso del promedio rotativo de emisiones, a pesar de unos planificadas incidencias en la operación.

Arquitectura de MPCC 700 a dos niveles

(0176) El segundo tipo de problema, el problema de una ventana de tiempo mayor, es abordado de manera beneficiosa por aplicarse el planteamiento de un control MPCC a dos niveles. Según este planteamiento, el control MPCC 700 comprende una multitud - con preferencia dos - procesadores/controladores puestos en cascada.

(0177) Haciendo ahora referencia a la Figura 10, se puede apreciar que una unidad de procesamiento de control (CPU) 705A de nivel 1 es operativa para resolver un problema a plazo corto, ó sea, el problema de una ventana de tiempo corta, en la manera anteriormente descrita con referencia a la arquitectura a un solo nivel. Según lo indicado en la Figura 10, la unidad CPU 705A comprende un procesador 810A. Este procesador 810A ejecuta la lógica de predicción 850A, memorizada en la unidad de disco de memoria 710A, con el fin de proporcionar un manejo dinámico de las emisiones del promedio rotativo dentro de una ventana de tiempo que es igual al corto plazo del aplicable horizonte de tiempo. Una controlada variable CV - que representa el plazo corto ó el objetivo de unas emisiones según el promedio rotativo del aplicable horizonte de tiempo - es memorizada, como parte integrante de los datos 885A, dentro de la unidad de disco de memoria 710A de la unidad CPU 705A.

(0178) La CPU 705A comprende, asimismo, la memoria 820A y la interfase 830A, ambas similares a la memoria 820 y a la interfase 830, anteriormente descritas con referencia a la Figura 8. La interfase 830A recibe un subconjunto de señales entrada/salida del MPCC 700, es decir, las señales entrada/salida 805A. La unidad de disco de memoria 710A también tiene memorizados la lógica de estimación 840A, el modelo de estimación dinámica 880A, la lógica generadora de control 860A, el modelo de control dinámico 870A y la base de datos históricos 890A de las emisiones del SO₂, todos ellos descritos anteriormente con referencia a la Figura 8. La unidad CPU 705A comprende también un temporizador 1010, normalmente un reloj de procesador. La función del temporizador 1010 será descrita a continuación con más detalles.

(0179) La unidad de procesamiento de control CPU 705B de dos niveles es operativa para resolver un problema a largo plazo, ó sea, el problema de una ventana de tiempo larga. Según lo indicado en la Figura 10, la CPU 705B comprende un procesador 810B. Este procesador 810B ejecuta la lógica de predicción 850B, también para proporcionar un manejo dinámico de las emisiones del promedio rotativo. Sin embargo, la lógica de predicción 850B es ejecutada con el fin de manejar de forma dinámica las emisiones del promedio rotativo a la vista de la completa ventana de tiempo de las futuras exigencias en cuanto a las emisiones del promedio rotativo, así como con el fin de determinar el corto plazo óptimo ó el objetivo de las emisiones del promedio rotativo según el aplicable horizonte de tiempo, es decir, determinar el límite máximo para la unidad CPU 705A de un solo nivel. Por consiguiente, la unidad CPU 705B actúa como un optimizador de las emisiones del promedio rotativo a largo plazo, y la misma pronostica el promedio rotativo de las emisiones durante el aplicable horizonte de tiempo a efectos del control de este promedio rotativo de las futuras emisiones por la completa ventana tiempo.

(0180) La variable CV - que representa la exigencia en cuanto al promedio rotativo de las emisiones según el horizonte de tiempo a largo plazo - está memorizada, como parte integrante de los datos 885B, dentro de la unidad de disco de memoria 710B. La CPU 705B comprende, asimismo, la memoria 820B y la interfase 830B, ambas son similares a la memoria 820 y a la interfase 830 anteriormente descritas. La interfase 830B recibe un subconjunto de señales entrada/salida del MPCC 700, es decir, las señales entrada/salida 805B.

(0181) Si bien la arquitectura a dos niveles, indicada en la Figura 10, comprende una multitud de unidades de procesamiento de control CPU, debe ser reconocido, sin embargo, que la lógica de predicción a un plano múltiple también puede ser implementada, si esto es deseado, de otras maneras. En la Figura 10, por ejemplo, el nivel 1 del control MPCC 700 está representado por la CPU 705A, mientras que el nivel 2 de este control MPCC 700 está

representado por la CPU 705B. No obstante, también una sola unidad CPU - como la CPU 705 de la Figura 8 - podría ser empleada para ejecutar tanto la lógica de predicción 850A como asimismo la lógica de predicción 850B para de este modo determinar el óptimo objetivo de las emisiones del promedio rotativo a corto plazo ó en el horizonte de tiempo aplicable, a la vista de las pronosticadas óptimas emisiones del promedio rotativo a largo plazo, con el fin de resolver el problema a largo plazo ó el problema de una ventana de tiempo larga así como para optimizar las emisiones del promedio rotativo a corto plazo ó al plazo aplicable, y esto a la vista del objetivo determinado.

(0182) Tal como arriba indicado, la CPU 705B se ajusta a un horizonte de tiempo a largo plazo, a veces también denominado horizonte de control y correspondiente a la ventana de tiempo del promedio rotativo de las emisiones. De una manera conveniente, la CPU 705B dirige las dinámicas emisiones del promedio rotativo a la vista de la completa ventana de tiempo de las futuras emisiones del promedio rotativo, y la misma determina el límite óptimo para las emisiones del promedio rotativo a corto plazo. La CPU 705B ejecuta esto a una frecuencia que es lo suficientemente rápida para permitir que la misma pueda captar los cambios en el plan de operaciones dentro de unos periodos relativamente cortos.

(0183) La CPU 705B emplea el objetivo de las emisiones del promedio rotativo a corto plazo ó al plazo aplicable - el cual es considerado por la CPU 705A como una controlada variable CV - como una variable múltiple MV y la misma considera el promedio rotativo de las emisiones a largo plazo como una CV. Por consiguiente, el promedio rotativo de las emisiones a largo plazo es guardado como una parte integrante de los datos 855 dentro de la unidad de disco de memoria 710B. La lógica de predicción 850B tratará la condición del régimen permanente como una exigencia del proceso, la cual ha de ser mantenida al límite del permiso ó por debajo del mismo, en lugar de tratarla como una exigencia económica, y esta lógica también hace respetar un recorrido de control dinámico que mantiene los valores actuales y futuros del promedio rotativo de las emisiones dentro de la ventana de tiempo aplicable ó por debajo del límite del permiso. De este modo, el control MPCC 700 está provisto de una configuración de sintonización en cuanto al promedio rotativo de las emisiones.

(0184) Además, las variables de perturbación DVs para unos factores como pueden ser unas planificadas incidencias en la operación como, por ejemplo, los cambios en la carga, las cuales pueden tener un impacto sobre las emisiones dentro de un horizonte aplicable, son tenidas en cuenta para la lógica de predicción 850B y, por consiguiente para el control MPCC 700 del proceso de la WFGD. Tal como mencionado anteriormente, en la práctica es así que las DVs actuales, que están guardadas como parte integrante de los datos 855B dentro del disco de memoria 710B, pueden variar en base al tipo del subsistema de WFGD ó en función de la particular filosofía de operación, adoptada para el subsistema, y las mismas pueden ser ajustadas por parte del operario ó por la unidad CPU 705B, ejecutando la lógica generador de control 860B, ó bien por un sistema de planificación exterior (no indicado), a través de la interfase 830B. Sin embargo, y tal como discutido más arriba, las DVs no tienen, por regla general, una configuración que pueda ser fácilmente ajustada por el operador ó por otros usuarios y, por consiguiente, con preferencia está prevista una herramienta de interfase del plan de operaciones - como la interfase que está indicada en las Figuras 11 A y 11B - como parte integrante de la lógica de predicción, 850A y/ó 850B, con el fin de ayudarle al operador ó a otro usuario en el ajuste de las variables DVs y en el mantenimiento de las mismas.

(0185) Sin embargo, y también aquí es así que cualquiera que sea el tipo de las efectivas DVs, la función de las DVs será siempre la misma, y ésta consiste en encauzar el impacto de las planificadas incidencias de la operación hacia la lógica de predicción 850B que, en este caso, puede ser ejecutada por el procesador 810B del control MPCC 700 con el fin de pronosticar las futuras dinámicas y las condiciones del régimen permanente de la variable CV para las emisiones del promedio rotativo a largo plazo.

(0186) De este modo, la CPU 705B ejecuta la lógica de predicción 850B con el fin de determinar el óptimo límite para las emisiones del promedio rotativo a corto plazo ó al plazo aplicable, a la vista de las planificadas incidencias de la operación dentro del plan de control. Este óptimo límite de las emisiones del promedio rotativo a corto plazo ó al plazo aplicable es transmitido, a través del enlace de comunicación 1000, hacia la unidad CPU 705A. De esta manera, el control MPCC 700 está provisto de una configuración de sintonización para optimizar el promedio rotativo de las emisiones a la vista de unas planificadas incidencias en la operación y, por consiguiente, el mismo está provisto de la capacidad para optimizar el control de la operación de la desulfuración WFGD dentro del límite del permiso para las emisiones del promedio rotativo, y esto a pesar de unos planificados acontecimientos ó incidencias en la operación.

(0187) La Figura 12 muestra, a escala de aumento, la vista de la arquitectura a múltiples niveles para el control MPCC 700. Según lo indicado, un operador ó otro usuario emplea un terminal de control remoto 1220 para comunicarse, a través de los enlaces de comunicación 1225 y 1215, tanto con la base de datos históricos de procesos 1210 como con el control MPCC 700. El control MPCC 700 comprende las unidades CPU 705A y CPU 705B de la Figura 10, las cuales están conectadas entre si por medio del enlace de comunicación 1000. A través del enlace de comunicación 1230, los datos, asociados con el proceso de la WFGD, son transmitidos hacia la base de datos históricos de procesos 1210 que guarda estos datos como tales datos históricos de los procesos. Tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle, los necesarios datos guardados son recuperados de la base de datos 1210 a través del enlace de comunicación 1215, y los mismos son procesados por la unidad CPU 705B. Los necesarios datos, que están relacionados con el proceso de WFGD, también son transmitidos, por medio del

enlace de comunicación 1235, hacia la unidad CPU 705A para ser procesados por la misma.

(0188) Tal como anteriormente descrito, la CPU 705A recibe de la CPU 705B, a través del enlace de comunicación 1000, los objetivos de operación en forma de unas variables CV, correspondientes al deseado objetivo del promedio rotativo a largo plazo. El comunicado objetivo del promedio rotativo constituye el optimizado objetivo para el promedio rotativo a largo plazo, el cual es generado por la CPU 705B por ejecutar la lógica de predicción 850B. Las comunicaciones entre la CPU 705A y la CPU 705B son manejadas de la misma manera como las comunicaciones entre un controlador MPC y un optimizador en tiempo real.

(0189) De una manera conveniente, la CPU 705 A y la CPU 705B comprenden un protocolo de diálogo que asegura que la CPU 705B termine con la transmisión de los optimizados objetivos de del promedio rotativo a largo plazo a la CPU 705A; la CPU 705A retrocederá ó cambiará a una inteligente y conservadora estrategia de operación para la exigencia del promedio rotativo a largo plazo. La lógica de predicción 850A puede incluir también una herramienta para establecer un tal protocolo, asegurando con ello el diálogo y el cambio necesarios. Sin embargo, al no incluir la lógica de predicción 850A una tal herramienta, los aspectos típicos y la funcionalidad del distribuido sistema de control DCS pueden ser adaptados, de una manera bien conocida por las personas familiarizadas con este ramo técnico, para implementar el diálogo y el cambio necesarios.

(0190) Una cuestión crítica consiste en asegurar que la CPU 705A esté empleando consistentemente un objetivo puntual, es decir, nuevo y no caducado para el promedio rotativo a largo plazo. Cada vez que la CPU 705B ejecuta la lógica de predicción 850B, la primera calculará un nuevo ó fresco objetivo para el promedio rotativo a largo plazo. A través del enlace de comunicación 100, la CPU 705A recibe de la CPU 705B este nuevo objetivo. En base a la recepción del nuevo objetivo, la CPU 705A ejecuta la lógica de predicción 850A para volver a ajustar el temporizador 1010. Si la CPU 705A no recibe - a tiempo y a través del enlace de comunicación 1000 - de la CPU 705B un nuevo objetivo, el temporizador 1010 se para ó expira. En base a la expiración del temporizador 1010, la CPU 705A considera que - en conformidad con la lógica de predicción - el actual objetivo del promedio rotativo a largo plazo esté caducado, y la misma retorna a una estrategia de operación segura hasta que reciba de la CPU 705B un nuevo y fresco objetivo para el promedio rotativo a largo plazo.

(0191) De forma preferente, el ajuste mínimo para el temporizador es un tanto más largo que la frecuencia de ejecución de la CPU 705B, esto con el fin de acomodar las cuestiones de la carga y de la planificación del ordenador. A causa de la no programada operación de muchos optimizadores de tiempo real, una práctica normal y convencional consiste en ajustar los temporizadores de comunicación a la mitad del tiempo, e incluso hasta el doble del tiempo del régimen permanente de un controlador. Sin embargo, dado que está programada la ejecución de la lógica de predicción por parte de la CPU 705B, las directrices recomendadas para el ajuste del temporizador no son las de un enlace de optimización del régimen permanente, sino deberían ser, por ejemplo, no mayor que dos veces la frecuencia de ejecución del controlador, al trabajar éste con la CVPU 705B, más 3 hasta 5 minutos, aproximadamente.

(0192) Al determinar la CPU 705A que está caducado el actual objetivo del promedio rotativo a largo plazo y al cambiar la misma, la exigencia del promedio rotativo a largo plazo tiene que ser reajustada. Sin la aportación de un nuevo y fresco objetivo del promedio rotativo a largo plazo por parte de la CPU 705B, la CPU 705A no dispone de ningún objetivo ó de una orientación a largo plazo. Por consiguiente, la CPU 705 A incrementa, en este caso, el margen de seguridad para las operaciones del proceso.

(0193) Por ejemplo, si el período del promedio rotativo es relativamente corto, es decir, de cuatro hasta ocho horas, y al estar el subsistema trabajando a las condiciones de la carga básica, la CPU 705A puede incrementar el caducado objetivo del promedio rotativo, en conformidad con la lógica de predicción 850A, en un 3 hasta un 5 % de peso. En estas circunstancias, un tal incremento debería establecer un suficiente margen de seguridad para unas condiciones continuadas. Con respecto a la introducción de datos por parte del operador, la cual es necesaria para implementar este incremento, lo único que hace falta es la introducción de un solo valor como, por ejemplo, el 3 % de peso, en la lógica de predicción.

(0194) Por el otro lado, si el período del promedio rotativo es relativamente largo como, por ejemplo, de 24 horas ó más, y/ó al estar trabajando el subsistema bajo una carga inconstante, la CPU 705A puede retornar, en conformidad con la lógica de predicción 850A, a un objetivo conservador. Una circunstancia en la que esto puede tener lugar, consiste en el hecho de que la CPU 705A emplea una supuesta operación constante a ó bien por encima de la planificada carga del subsistema durante todo el período de la ventana de tiempo del promedio rotativo. En este caso, la CPU 705A puede calcular, en base a una tal operación constante, un objetivo de emisión constante y añadir un pequeño margen de seguridad ó un factor de cómoda obtención que pueden ser determinados por la dirección de la planta. Para poder implementar esta solución en la CPU 705A, la lógica de predicción 850A tiene que comprender la indicada funcionalidad. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que la funcionalidad para ajustar este objetivo conservador también puede ser implementada, al ser esto deseado, en el distribuido sistema de control DCS, en lugar de en la CPU 705A. También existe la posibilidad de implementar este objetivo conservador, en forma de una secundaria constante controlada CV, dentro del controlador a un solo nivel 705A y de activar esta CV solamente al estar caducado el objetivo 1000 del promedio rotativo a corto plazo.

(0195) Por consiguiente, no importa que el período del promedio rotativo sea relativamente corto ó largo y/ó que el

subsistema esté operando con una carga constante ó inconstante, la lógica de predicción 850A comprende, de forma preferente, unos límites para el cambio, por lo cual no es necesaria la acción del operador. No obstante, también podrían ser aplicadas otras técnicas para fijar un límite de cambio, siempre que estas técnicas establezcan una segura operación conservadora en relación con la exigencia del promedio rotativo y durante aquellos períodos, en los cuales la CPU 705B no esté proporcionando unos nuevos y frescos objetivos con respecto al promedio rotativo a largo plazo.

(0196) Ha de tenerse en cuenta que las efectivas emisiones del SO₂ son rastreadas por el control MPCC 700 en la base de datos históricos de procesos 1210, esté ó no esté la CPU 705B operando de forma apropiada ó aportando a la CPU 705A unos nuevos y frescos objetivos del promedio rotativo a largo plazo. Por consiguiente, las emisiones memorizadas pueden ser empleadas por la CPU 705B para rastrear y tener en cuenta las emisiones de SO₂ que se producen, incluso cuando la CPU 705B no esté operando ó comunicando de manera apropiada con la CPU 705A. Sin embargo, una vez que la CPU 705B esté otra vez operando de forma apropiada y sea capaz de comunicar adecuadamente, la misma volverá a optimizar - en conformidad con la lógica de predicción 850B - las emisiones del promedio rotativo para incrementar ó reducir el actual objetivo de las emisiones del promedio rotativo, el cual está siendo aplicado por la CPU 705A con el fin de ajustar las efectivas emisiones que se produjeron durante la parada y para facilitar a la CPU 705A, a través del enlace de comunicación 1000, el nuevo y fresco objetivo del promedio rotativo a largo plazo.

20 Implementación on-line

(0197) La Figura 13 muestra un diagrama de bloques funcionales de la interfase entre un control MPCC 1300 y el distribuido sistema de control DCS para el proceso de desulfuración WFGD 620. El control MPCC 1300 lleva incorporados tanto un controlador 1305, que puede ser similar al controlador 610 de la Figura 6, como un estimador 1310, que puede ser similar al estimador 630 de la Figura 6. Al ser esto deseado, el control MPCC 1300 puede estar constituido por el control MPCC, indicado en las Figuras 7 y 8. Este control MPCC 1300 también podría estar configurado por aplicarse una estructura a niveles múltiples como, por ejemplo, la arquitectura representada en las Figuras 10 y 12.

(0198) Según lo indicado, el controlador 1305 y el estimador 1310 están conectados con el sistema de control distribuido DCS 1320 a través de la interfase de datos 1315 que puede ser parte integrante de la interfase 830 de la Figura 8. Según esta preferida forma de realización, la interfase de datos 1315 está implementada empleando un módulo de software de la interfase de datos Pegaso (PDI). Sin embargo, esto no es obligatorio, y la interfase de datos 1315 también podría estar implementada por emplearse cualquier otra lógica de interfase. La interfase de datos 1315 transmite los puntos de ajuste para las manipuladas variables MVs y la misma lee las variables de proceso PVs. Los puntos de ajuste pueden ser transmitidos en forma de las señales de entrada/salida 805 de la Figura 8.

(0199) Según esta preferida forma de realización, el controlador 1305 está implementado en la forma de un perfeccionador de energía Pegaso (PPP) que está constituido por tres componentes de software, a saber, el componente del servidor de datos, el componente del controlador y la interfase gráfica de usuario (GUI). El componente del servidor de datos es empleado para comunicarse con el módulo PDI para recopilar unos datos locales, relacionados con la aplicación del control. El componente del controlador ejecuta la lógica de predicción 850 con el fin de efectuar cálculos de algoritmos para modelos de control predictivo a la vista del modelo de control dinámico 870. El componente de la interfase GUI visualiza - por ejemplo, en la visualización 730 - los resultados de estos cálculos, y el mismo proporciona una interfase para sintonizar el controlador. También aquí resulta que el empleo del perfeccionador de energía Pegaso PPP no es obligatorio, y el controlador 1305 podría ser implementado, asimismo, por aplicarse cualquier otra lógica de controlador.

(0200) Según esta preferida forma de realización, el estimador 1310 está implementado por ser empleado un módulo de software de máquina de aplicación de tiempos de pasada Pegaso (RAE). La máquina de aplicación de tiempo de pasada RAE comunica directamente con el módulo PDI y con el perfeccionador de energía PPP. La RAE está prevista para proporcionar un gran número de aspectos que convierten la misma en un entorno apropiado para albergar el virtual analizador on-line (VOA); entorno éste que es muy eficiente en cuanto a los costos. La lógica de funcionalidad para la comprobación de errores, de un control de los "latidos del corazón", de la capacidad de la supervisión de comunicaciones y de los procesos del ordenador así como la posibilidad de emitir alarmas son unos aspectos que están todos implementados en la RAE. Sin embargo, también aquí es así que el empleo de la máquina de aplicación de tiempos de pasada (RAE) Pegaso no es obligatorio, y el estimador 1310 también podría ser implementado por aplicarse cualquier otra lógica de controlador.

(0201) El controlador 1305, el estimador 1310 así como el módulo PDI ejecutan, de forma preferente, dentro de un mismo procesador como, por ejemplo, el procesador 810 de las Figuras 8 ó 10, el cual se encuentra conectado a una red de control, aquí incluido el sistema DCS 1320, para el proceso de WFGD, usando para ello una conexión de tipo Ethernet. Es normal, actualmente, que el sistema operativo de los procesadores esté basado en Microsoft Windows, si bien esto no es obligatorio. El procesador también puede formar parte integrante del conjunto de ordenadores de una estación de trabajo de gran capacidad ó de otra clase de ordenadores que, a título de ejemplo, están indicados en la Figura 7. En cualquier caso, el procesador - y la memoria, asociada al mismo - deben ser de una suficiente capacidad de computación y de memorización con el fin de poder ejecutar la lógica,

necesaria para llevar a efecto el avanzado control de la desulfuración WFGD, tal como aquí descrito.

Modificaciones del distribuido sistema de control DCS

5 (0202) Tal como anteriormente descrito con referencia a la Figura 13, el procesador controlador, que ejecuta la lógica de predicción 850, está en comunicación - a través de la interfase 1315 - con el sistema DCS 1320 para controlar el proceso WFGD 620. Para facilitar una más apropiada interfase entre el controlador 1305 y el sistema DCS 1320, un sistema convencional del DCS requiere, por regla general, una modificación. Por consiguiente, el sistema DCS 1320 representa, de una manera conveniente, un sistema DCS convencional que ha sido modificado,
10 de una manera bien conocida en el ramo técnico y de tal modo, que el mismo pueda incluir los aspectos descritos más abajo.

(0203) El sistema DCS 1310 ha sido adaptado de una manera conveniente, es decir, el mismo está programado con la lógica necesaria, empleando normalmente un software para permitirle al operador ó a otro usuario llevar a efecto las siguientes funciones desde la pantalla de interfase del DCS:

- * Cambiar el modo de control del perfeccionador de energía PPP entre automático y manual;
- * Observar el estado del controlador;
- * Observar el estado del temporizador de supervisión (“latido del corazón”);
- 20 * Observar los atributos de la variable MV para estado, mínimo, máximo y valor actual;
- * Validar cada variable MV ó pasar cada MV a desconectado;
- * Observar los atributos de la variable CV para mínimo, máximo y valor actual;
- * Introducir los valores de laboratorio para pureza de yeso, química del absorbedor y características de piedra caliza.

25 (0204) Como ayuda para el acceso a esta funcionalidad por parte del usuario, el sistema DCS 1310 está adaptado para visualizar mediante dos nuevas pantallas, tal como esto está indicado en las Figuras 14A y 14B. La pantalla 1400 de la Figura 14A es usada por el operador ó por otro usuario para vigilar el control MPCC, mientras que la pantalla 1450 de la Figura 14B es usada por el operador ó por otro usuario para introducir los valores de laboratorio y/ú otros valores que puedan ser apropiados.
30

(0205) De una manera conveniente, y con la finalidad de evitar una innecesaria complejidad para la comprensión de la presente invención, algunos puntos - como, por ejemplo, el punto de los costos operacionales - están excluidos de la matriz de control según la descripción, relacionada a continuación. No obstante, debe tenerse presente que los costos operacionales pueden estar fácilmente incluidos en la matriz de control y esto es, en muchos casos, hasta preferible. También de una manera conveniente, y con el fin de simplificar la discusión, las bombas de reciclaje son tratadas como variables DVs, en lugar de variables MVs. También aquí resulta que las personas, familiarizadas con este ramo técnico, sabrán que en muchos casos puede ser preferible tratar las bombas de reciclaje como unas variables MVs. Finalmente, ha de tenerse en cuenta que en la siguiente descripción se ha supuesto que el subsistema de WFGD disponga de dos torres de absorción y de dos asociados controles MPCC (un ejemplo del control MPCC para cada absorbedor dentro del subsistema de WFGD).
40

Pantallas DCS de control avanzado

45 (0206) Ahora nos referimos a la Figura 14A; la pantalla 1400, tal como aquí indicada, comprende un MODO DE CONTROLADOR que es una etiqueta que por el operador/usuario puede ser seleccionada para Automático ó Manual. En la posición de AUTO, el controlador 1305 - que ejecuta la lógica de predicción 850 como, por ejemplo, el perfeccionador de energía Pegaso - computa los movimientos de MV y ejecuta la lógica generadora de control 860 con el fin de dirigir hacia el sistema DCS 1320 las señales de control que implementan estos movimientos. El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, no calculará, sin embargo, los movimientos de MV, al no ser que la variable haya sido validada, es decir, esté puesta en AUTO.
50

(0207) El controlador 1305 - que ejecuta la lógica de predicción 850 como, por ejemplo, el perfeccionador de energía Pegaso - comprende un temporizador de supervisión ó la función de “latido de corazón” que controla la integridad de la interfase de comunicaciones 1315 con el sistema DCS 1320. Un indicador de alarma (no indicado aquí) aparecerá en la pantalla al fallar la interfase de comunicaciones 1315. El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, podrá detectar el estado de alarma y el mismo iniciará, en base a este estado de alarma, el cambio de todas las selecciones validadas - es decir, activas - hacia un nivel inferior de la configuración del sistema del distribuido control DCS.
55

60 (0208) La pantalla 1400 comprende, asimismo, una etiqueta de ESTADO DEL PERFECCIONADOR que indica si la lógica de predicción 850 ha sido ejecutada con éxito por parte del controlador 1305. Un estado de BUENO (tal como indicado en la etiqueta) es necesario para que el controlador 1305 pueda seguir estando operativo. El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, podrá detectar un estado MALO y, como respuesta a la detección de este estado MALO, el mismo cortará todas las conexiones activas y cambiará, es decir, devolverá el control al sistema DCS 1320.
65

(0209) Tal como indicado, las variables MVs están visualizadas con los encabezamientos de información indicados

a continuación:

* VALIDADO - Por el operador ú otro usuario, este campo puede ser seleccionado mediante una entrada al controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, con el fin de validar ó invalidar cada variable MV. Invaldar una MV corresponde a pasar la misma al estado de desconectado.

* SP - Indica el punto de ajuste para la lógica de predicción 850.

* MODO - Indica si la lógica de predicción 850 detecta que la aplicable variable MV está en funcionamiento, se encuentra en espera ó está desconectada.

* LIMITE MINIMO - Indica el límite mínimo que por la lógica de predicción 850 está siendo empleado para la variable MV. Ha de tenerse en cuenta que, de forma preferente, estos valores no pueden ser cambiados por parte del operador ó del usuario.

* LIMITE MAXIMO - indica el límite máximo que por la lógica de predicción 850 está siendo empleado para la variable MV. Aquí también es preferible que estos valores no puedan ser cambiados.

PV - Indica el último ó el actual valor de cada MV, tal como el mismo es detectado por la lógica de predicción 850.

(0210) La pantalla 1400 comprende, además, los detalles siguientes sobre los indicadores del campo de estado de las variables MV:

El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, solamente ajustará una particular variable MV al encontrarse su MODO en CONECTADO. Para que esto ocurra, deben ser cumplidas cuatro condiciones: En primer lugar ha de ser seleccionada por el operador ó por otro usuario la etiqueta de VALIDADO. El sistema de control DCS 1320 ha de encontrarse en el modo AUTO. Las condiciones para un cambio deben ser falsas en la computación por parte del controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850. Y, finalmente, han de ser falsas las condiciones de mantenimiento en la computación por parte del controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850.

(0211) El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 1350, cambiará y visualizará un estado del modo de la MV en HOLD ó MANTENIMIENTO al existir unas condiciones que no le permitan al controlador 1305 ajustar esta particular variable MV. Al encontrarse en el estado de MANTENIMIENTO, el controlador 1305 mantendrá - en conformidad con la lógica de predicción 850 - el valor actual de la MV hasta que esté capacitado para eliminar la condición de MANTENIMIENTO. Para que el estado de la MV pueda permanecer en MANTENIMIENTO tienen que ser cumplidas cuatro condiciones. En primer lugar, por el operador ú otro usuario debe ser seleccionada la etiqueta de VALIDADO. El sistema DCS 1320 ha de estar en el modo AUTO. Las condiciones para un cambio deben ser falsas en la computación por parte del controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850. Y, finalmente, han de ser verdaderas las condiciones de mantenimiento en la computación por parte del controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850.

(0212) El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, pasará a Mantenimiento HOLD tanto el modo del estado de la variable MV como el modo del estado Conectado/Desconectado de la visualización al presentarse unas condiciones que no le permiten al controlador 1305 ajustar la particular variable MV en base a una de las condiciones relacionadas a continuación. Primero, al no estar seleccionado dentro de la casilla de posibilidades, por parte del operador ó de otro usuario, el modo del control. El modo del distribuido control DCS no se encuentra en Automático, es decir, que el mismo está en Manual. Es verdadera ó aplicable cualquier condición de cambio, computada por el controlador 1305 que ejecuta la lógica de predicción 850.

(0213) El controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, reconocerá varias condiciones de cambio, aquí incluido el fallo del estimador 1310, para ejecutar y para rehusar la introducción de los valores de laboratorio durante un período anterior, previamente determinado como, por ejemplo, en las últimas 12 horas. Al determinar el controlador 1305, que ejecuta la lógica de predicción 850, que es aplicable una cualquiera de las condiciones de cambio anteriormente mencionadas, el controlador devolverá al sistema DCS 1320 el control de la variable MV.

(0214) Tal como esto también está indicado en la Figura 14A, las variables CV están indicadas con los siguientes encabezamientos de información:

PV - Indica el último valor tomado de la variable CV, recibida por el controlador 1305.

LAB - Indica el valor del último ensayo de laboratorio, conjuntamente con el tiempo en el cual fue recibida la muestra por parte del controlador 1305.

ESTIMATE - Indica la estimación actual ó la estimación más reciente de la variable CV, la cual es generada por el estimador 1310, que ejecuta la lógica de estimación 840, en base al modelo de estimación dinámica.

MIN - Visualiza el límite mínimo para la variable CV.

MAX - Visualiza el límite máximo para la variable CV.

Además, la pantalla 1400 indica mediante gráficos la tendencia de la operación durante algunos previamente determinados períodos del pasado como, por ejemplo, de las últimas 24 horas de operación, y esto para los valores estimados de las variables CVs.

Forma de introducción de Muestras del Laboratorio

(0215) Haciendo ahora referencia a la Figura 14B, en la misma está indicado el prototipo de la pantalla DCS 1450 para la forma de entrada de muestras del laboratorio por parte del operador ú otro usuario. La pantalla puede ser empleada por el operador ó por otro usuario para introducir los valores de muestras de ensayo del laboratorio, los cuales han de ser procesados por el estimador 1310 de la Figura 13, en conformidad con la lógica de estimación 840 y con el modelo de estimación dinámica 880, tal como anteriormente descritos en relación con la Figura 8.

(0216) Tal como indicado en la Figura 14B, se introducen los valores siguientes, de acuerdo con el respectivo modelo de tiempos, determinado por el estimador 1310:

Valores de muestreo de laboratorio de Unidad 1:

- Pureza del yeso
- Cloruro
- Magnesio
- Fluoruro

Valores de muestreo de laboratorio de Unidad 2:

- Pureza del yeso
- Cloruro
- Magnesio
- Fluoruro

Valores de muestreo combinados de laboratorio Unidades 1 y 2:

- Pureza del yeso
- Pureza de piedra caliza
- Trituración de piedra caliza

(0217) El operador ú otro usuario introducen los valores de los ensayos del laboratorio, conforme al correspondiente tiempo de muestreo, empleando para ello el teclado 720, por ejemplo, el cual está indicado en la Figura 7. Después de la introducción de estos valores, el operador apretará el botón de puesta a punto empleando, por ejemplo, el ratón 725, indicado en la Figura 7. La activación del botón de puesta hace que el estimador 1310 actualice los valores de estos parámetros durante la próxima ejecución de la lógica de estimación 840. Ha de tenerse en cuenta que, al ser esto deseado, estos valores de ensayos del laboratorio también pueden ser aportados de forma automática al control MPCC 1300 desde el laboratorio correspondiente de forma digitalizada y a través de la interfase de la unidad de procesamiento de MPCC como, por ejemplo, de la interfase 830, indicada en la Figura 8. Además, la lógica de control MPCC también puede ser fácilmente adaptada, es decir, programada para activar automáticamente la función de puesta a punto, representada por el botón de puesta a punto, y esto como respuesta a la recepción de los valores en forma digitalizada y desde los respectivos laboratorios.

(0218) Con el fin de asegurar un control apropiado en el proceso de la WFGD, los valores de ensayos del laboratorio para la pureza del yeso han de ser actualizados cada 8 hasta 12 horas. Por consiguiente, si la pureza del yeso no es actualizada durante este período de tiempo, el control MPCC 1300 es configurado ó programado preferentemente con la lógica necesaria para cambiar el control y producir una alarma.

(0219) Además, los valores de la química del absorbedor y los valores característicos de la piedra caliza deben ser actualizados una vez a la semana. También aquí es así que, al no ser estos valores actualizados a tiempo, el control MPCC 1300 está configurado, de forma preferente, para emitir una alarma.

(0220) La lógica de validación está comprendida en la lógica de estimación 840, que es ejecutada por el estimador 1310, con el fin de validar los datos de entrada del operador. Al no ser introducidos estos valores de forma correcta, el estimador 1310 pasará, en conformidad con la lógica de estimación 840, a los valores anteriores y estos valores anteriores siguen siendo visualizados en la Figura 14B, no quedando puesto a punto el modelo de estimación dinámica.

Control de conjunto de las operaciones de la WFGD

(0221) Ahora se describirá, con referencia a las Figuras 15A, 15B, 16, 17, 18 y 19, el control del conjunto de las operaciones del subsistema de WFGD por parte de un control MPCC, de uno cualquiera de los tipos anteriormente comentados.

(0222) La Figura 15A indica un sistema de generación de energía (PGS) 110 y un sistema de control de contaminación del aire (APS) 120, similar al sistema descrito con referencia a la Figura 1, al igual que en relación con otras referencias que identifican unos elementos similares del sistema, algunos de los cuales no serán descritos más abajo con mayor detalle para evitar unas innecesarias duplicidades.

(0223) Tal como representado, el subsistema de WFGD comprende un control multivariable que en este ejemplo de implementación está representado por el control MPCC 1500 que puede ser similar a los controles MPCC 700 ó MPCC 1300, anteriormente descritos, y el cual puede llevar incorporada, en el caso de ser deseado esto, una arquitectura de nivel múltiple del tipo descrito con referencia a las Figuras 10 hasta 12.

(0224) El gas de combustión 114 con el SO₂ es dirigido desde los otros subsistemas APC 122 hacia la torre de absorción 132. El aire de ambiente 152 es comprimido por un soplador 150, y el mismo es dirigido hacia el cristalizador 134 como un aire comprimido de oxidación 154'. Un sensor 1518 detecta la medición de las condiciones del ambiente 1520. Esta medición de las condiciones ambientales 1520 puede comprender, por ejemplo, la temperatura, la humedad y la presión barométrica. El soplador 150 comprende un control de carga de soplador 1501 que puede proporcionar el actual valor de carga de soplador 1502 y puede modificar la actual carga del soplador en base a un recibido punto de ajuste SP 1503 para la carga del soplador.

(0225) Tal como indicado, el lodo de piedra caliza 148' es bombeado por las bombas de lodo 133 desde el cristalizador 134 hacia la torre de absorción 134. Cada una de las bombas de lodo 134 comprende un control de estado 1511 y un control de carga 1514 de la bomba. El control de estado 1511 de la bomba puede facilitar un actual valor de estado 1512 de la bomba indicando, por ejemplo, el estado de conexión de la bomba, como asimismo puede modificar el estado actual de la bomba en base a un recibido punto de ajuste SP 1513 para el estado de la bomba. El control de carga 1514 de la bomba puede proporcionar un valor actual 1515 de la carga de la bomba, y el mismo puede modificar la actual carga de la bomba en base a un punto de ajuste SP 1516 para la carga de la bomba. El flujo de lodo de piedra caliza fresco 141' desde el mezclador/depósito 140 hacia el cristalizador 134 es controlado mediante una válvula de control de flujo 199 sobre la base de un punto de ajuste SP 196' para el flujo del lodo. Este punto de ajuste SP 196' del flujo de lodo está basado en una señal de control PID 181', determinada en base a un punto de ajuste SP 186' para el valor pH, tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle. El lodo fresco 141', que fluye hacia el cristalizador 134, sirve para ajustar el valor pH del lodo empleado en el proceso de WFGD y, por consiguiente, también sirve para controlar la eliminación del SO₂ del gas de combustión 114 que entra en la torre de absorción 132 y el cual está cargado del SO₂.

(0226) Tal como anteriormente indicado, el gas de combustión 114, que esta cargado del SO₂, entra en la torre de absorción 132 por la parte inferior de la misma. El SO₂ es eliminado del gas de combustión 114 dentro de la torre de absorción 132. El gas de combustión limpio 116', que preferentemente está exento del SO₂, puede ser dirigido desde la torre de absorción 132 hacia, por ejemplo, una chimenea 117. Un analizador de SO₂ 1504 – que aquí está indicado por la salida de la torre de absorción 132, pero que también podría estar ubicado en la chimenea 117 ó en cualquier otro lugar situado corriente abajo de la torre de absorción 132 – detecta la medición de la salida de SO₂ 1505.

(0227) Por el lado del control del subsistema 130', un controlador de proceso multivariable para la desulfuración WFGD, es decir, el MPCC 1500, que está indicado en la Figura 15B, recibe distintos datos de entrada. Los datos de entrada al MPCC 1500 pueden comprender el medido valor pH del lodo 183; la medida entrada del SO₂ 189; el valor de carga del soplador 1502; la medida salida del SO₂ 1505; el valor de pureza del yeso ensayado en laboratorio; la medida carga del sistema de generación de energía PGS 1509; los valores del estado de bombas de lodo 1512; los valores de carga de bombas de lodo 1515; y los medidos valores de las condiciones de ambiente 1520. Tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle, estos datos de entrada de los parámetros del proceso, conjuntamente con otros datos de entrada 1550, que no tienen porque incluir datos del proceso, con los datos de entrada 1555 para exigencias ó condicionantes, así como con los estimados y computados datos de entrada de parámetros 1560 son empleados por el controlador MPCC 1500 con el fin de generar unos controlados puntos de ajustes de parámetros (SPs) 1530.

(0228) Durante el funcionamiento, el analizador de SO₂ 188, situado cerca de la torre de absorción 132 del proceso WFGD ó corriente arriba de la misma, detecta la medición del SO₂ de entrada dentro del gas de combustión 114. El medido valor 189 de la entrada de SO₂ es pasado a la unidad de avance de alimentación 190 y al controlador MPCC 1500. También la carga del sistema de generación de energía (PGS) 110 es detectada por un sensor de carga de PGS 1508, y la misma es pasada – como la medida carga PGS 1509 – al sistema de control MPCC 1500. Además, el analizador de SO₂ 1504 también detecta la medición de la salida del SO₂ dentro del gas de combustión que sale de la torre de absorción 132. El medido valor 1505 de la salida del SO₂ es también aportado al MPCC 1500.

Estimación de la calidad del yeso

(0229) Haciendo ahora referencia a la Figura 19, observamos que los datos de entrada de parámetros al MPCC 1500 también comprenden unos parámetros que reflejan las condiciones que se están produciendo dentro de la torre de absorción 132. Los parámetros de este tipo pueden ser empleados por el MPCC 1500 para generar y para actualizar un modelo de estimación dinámica para el yeso. Este modelo de estimación dinámica del yeso puede constituir parte integrante, por ejemplo, del modelo de estimación dinámica 880.

(0230) Teniendo en cuenta que no existe ninguna manera práctica para medir la pureza del yeso directamente on-line, el modelo de estimación dinámica del yeso puede ser empleado - conjuntamente con la lógica de estimación, que es ejecutada por el estimador 1500B del MPCC 1500 como, por ejemplo, la lógica de estimación 840 – con el fin de computar una estimación de la calidad del yeso, la cual está indicada aquí como la calculada pureza de yeso

1932. El estimador 1500B es, de forma preferente, un virtual analizador on-line (VOA). Si bien aquí se indica que tanto el controlador 1500A como el estimador 1500B se encuentran alojados dentro de una sola unidad, es evidente que, al ser esto deseado, el controlador 1500A y el estimador 1500B también pueden estar alojados de forma separada entre sí para constituir unas partes componentes individuales, siempre que el controlador 1500A y el estimador 1500B se encuentren conectados entre sí de forma apropiada para facilitar las necesarias comunicaciones. La computada estimación 1932 de la calidad del yeso puede indicar también un ajuste por parte de la lógica de estimación en base a mediciones de la calidad de yeso por el laboratorio, el cual está representado aquí como el valor de pureza de yeso 1506 que constituye el dato de entrada para el control MPCC 1500.

(0231) La estimada calidad de yeso 1932 es pasada seguidamente por el estimador 1500B al controlador 1500A del sistema de control MPCC 1500. El controlador 1500A emplea la estimada calidad de yeso 1932 para actualizar un modelo de control dinámico como, por ejemplo, el modelo de control dinámico 870. Una lógica de predicción como, por ejemplo, la lógica de predicción 850, es ejecutada por el controlador 1500A, en conformidad con el modelo de control dinámico 870, para comparar la ajustada estimada calidad de yeso 1932 con una exigencia para la calidad del yeso, la cual representa la deseada calidad del yeso. La deseada calidad del yeso queda establecida, por regla general, por una especificación del contrato de ventas del yeso. Tal como aquí indicado, la exigencia de calidad del yeso es introducida al MPCC 1500 como el requisito de pureza de yeso 1924 que es memorizado como el dato 885.

(0232) El controlador 1500A determina, al ejecutar la lógica de predicción, si en base a los resultados de la comparación son necesarios unos ajustes en la operación del subsistema de la WFGD. En el caso afirmativo, la diferencia determinada entre la estimada calidad de yeso 1932 y la exigencia de calidad de yeso 1924 es empleada por la lógica de predicción, que está siendo ejecutada por el controlador 1500A, para determinar los necesarios ajustes que han de ser efectuados en la operación del subsistema WFGD con el fin de elevar la calidad del yeso 160' al nivel de las exigencias de calidad de yeso 1924.

Mantener el cumplimiento de los requisitos de la calidad del yeso

(0233) Con el fin de poner la calidad del yeso 160' en consonancia con las exigencias de calidad de yeso 1924, los necesarios ajustes para las operaciones de la WFGD, tal como los mismos han sido determinados por la lógica de predicción, son aportados a la lógica generadora de control como, por ejemplo, a la lógica generadora de control 860, que también es ejecutada por el controlador 1500A. El controlador 1500A ejecuta la lógica generadora de control para generar unas señales, correspondientes al necesario incremento ó a la necesaria reducción en la calidad del yeso 160'.

(0234) Estas señales de control pueden originar, por ejemplo, un ajuste en la operación de una ó de varias válvulas 199, de las bombas de lodo 133 y del soplador 150, indicados en la Figura 15A, de tal manera que un parámetro del proceso del subsistema de WFGD – como, por ejemplo, el parámetro del medido valor pH del lodo 148', que fluye desde el cristizador 134 hacia la torre de absorción 132 y el cual está representado por el medido valor pH de lodo 183, detectado por el sensor de valor pH 182 de la Figura 16A – corresponda a un deseado punto de ajuste (SP) como, por ejemplo, al deseado valor pH. Este ajuste en el valor pH 183 del lodo 148' tendrá, a cambio, por consecuencia unas modificaciones en la calidad del subproducto yeso 160', que actualmente está siendo producido por el subsistema de WFGD 130, así como en la estimada calidad de yeso 1932, computada por el estimador 1500B, con el fin de poder responder mejor a la deseada calidad de yeso 1924.

(0235) Hacemos ahora referencia a la Figura 16 que indica más detalles sobre la estructura y sobre la operación de la fuente de agua fresca 164, del mezclador/depósito 140 y de la unidad de drenaje 136. Tal como indicado, la fuente de agua fresca 164 comprende un depósito de agua 164A desde el cual es bombeado por la bomba 164B un lavado ME 200 hacia la torre de absorción 132, mientras que el agua de una fuente de agua fresca 162 es bombeada por la bomba 164C hacia el depósito de mezcla 140A.

(0236) La operación y el control de la unidad de drenaje 136 no quedan modificados por la adición del control MPCC 1500.

(0237) La operación y el control de la zona de preparación del lodo de piedra caliza, aquí incluidos el triturador 170 y el mezclador/depósito 140, no son afectados por la adición del control MPCC 1500.

(0238) Haciendo ahora referencia a las Figuras 15A, 15B y 16, observamos que el controlador 1500A puede ejecutar, por ejemplo, la lógica generadora de control para efectuar un cambio en el flujo del lodo de piedra caliza 141 hacia el cristizador 134. El volumen del lodo 141, que fluye hacia el cristizador 134, es controlado por abrir y cerrar la válvula 199. La apertura y el cierre de la válvula 199 son controlados mediante el controlador PID 180. La operación del controlador PID 180 para controlar el funcionamiento de la válvula 199 está basada en la entrada de un punto de ajuste para el valor pH del lodo.

(0239) Por consiguiente, para poder controlar de forma adecuada el flujo del lodo 141' hacia el cristizador 134, el controlador 1500A determina el punto de ajuste del valor pH del lodo, el cual pondrá la calidad del yeso 160' en consonancia con la exigencia de calidad 1924 del yeso. Tal como indicado en las Figuras 15A y 16, el determinado punto de ajuste del valor pH del lodo, el cual está indicado aquí como pH SP 186', es transmitido hacia el

controlador PID 180. El controlador PID 180 controla entonces la operación de la válvula 199 para modificar el flujo de lodo 141' con el fin de que el mismo corresponda al recibido punto de ajuste pH SP 186'.

(0240) Con el fin de controlar la operación de la válvula 199, el controlador PID 180 genera una señal de control PID 181' en base al recibido punto de ajuste del valor pH del lodo, pH SP 186', así como al recibido valor pH 183 del lodo 141', el cual es medido por el sensor de valor pH 182. La señal de control PID 181' es combinada con la señal de control de avance de alimentación (FF) 191 que es generada por la unidad FF 190. Tal como esto ya es conocido en este ramo de la técnica, la señal de control FF 191 es generada en base a la medida entrada de SO₂ 189 del gas de combustión 114, la cual es recibida de un analizador de SO₂ 188, situado corriente arriba de la torre de absorción 132. La señal de control PID 181 y la señal de control (FF) 191 son combinadas entre si dentro de un bloque de adición 192 que normalmente está incluido, como un aspecto ya incorporado, en el bloque de salida del distribuido sistema de control DCS que está en comunicación con la válvula 199. Las combinadas señales de control, que salen del bloque de adición 192, se encuentran representadas en el punto de ajuste 196 para el flujo del lodo.

(0241) El punto de ajuste 196' para el flujo del lodo es transmitido hacia la válvula 199. Por regla general, la válvula 199 comprende otro controlador PID (no indicado aquí) que dirige la apertura ó el cierre actuales de la válvula 199 en base al recibido punto de ajuste 196' del flujo de lodo, y esto con el fin de modificar el flujo del lodo 141' a través de la válvula 199. En cualquier caso, en base al recibido punto de ajuste del flujo de lodo 196', la válvula 199 es abierta ó es cerrada para incrementar ó para reducir el volumen del lodo 141' y, por consiguiente, también el volumen del lodo 240' que fluye hacia el cristizador 134 el cual modifica, a su vez, el valor pH del lodo dentro del cristizador 134, al igual que modifica la calidad del yeso 160' que está siendo producido por el subsistema 130' de la WFGD.

(0242) Aplicando unas ya conocidas técnicas, en el control MPCC 1500 y/o en el controlador PID 180, respectivamente, pueden estar programados los factores que han de ser tenidos en consideración para determinar si y cuando el control MPCC 1500 ha de ajustar ó actualizar el punto de ajuste del valor pH en el controlador PID y/o si y cuando este controlador PID 180 ha de ajustar ó actualizar en la válvula 199 el punto de ajuste para el flujo del lodo de piedra caliza. Tal como esto es sabido por las personas familiarizadas con este ramo técnico, en este tipo de determinaciones son tenidos en cuenta normalmente unos factores como la capacidad del controlador PID 180 y la precisión del sensor del valor pH 182.

(0243) El controlador 1500A genera el punto de ajuste de valor pH 186' por procesar -dentro del modelo de control dinámico 870 y en conformidad con un algoritmo ó con un bucle de una tabla de control de calidad del yeso - el medido valor pH del lodo 148', que desde el cristizador 134 fluye hacia la torre de absorción 132; valor este que es recibido del sensor de valor pH 182 y el mismo está representado por el valor pH de lodo 183. El algoritmo ó el bucle de la tabla de control de calidad representan una relación establecida entre la calidad del yeso 160' y el medido valor pH 183.

(0244) El controlador PID 180 genera la señal de control PID 181' por procesar - en conformidad con un algoritmo ó con un bucle de una tabla de control del flujo de piedra caliza - la diferencia entre el punto de ajuste de valor pH SP 186', recibido del controlador 1500A, y el medido valor pH del lodo 148', el cual es recibido del sensor de valor pH 182 y el mismo está representado por el valor pH 183 del lodo. Este algoritmo ó el bucle de la tabla representan una relación establecida entre la magnitud de la modificación en el volumen del lodo 141', que fluye desde el mezclador/depósito 140, y la magnitud del cambio en el medido valor pH 183 del lodo 148', que fluye del cristizador 134 hacia la torre de absorción 132. Quizás pueda ser de utilidad indicar aquí que, si bien en el ejemplo de la forma de realización, representada en la Figura 16, la cantidad de piedra caliza triturada 174, que del triturador 170 fluye hacia el depósito mezclador 140A, es regulada por medio de un controlador separado (no indicado aquí), la misma también podría ser controlada, en el caso de resultar más conveniente, por el control MPCC 1500. Además, y al ser esto deseado, el sistema de control MPCC 1500 también podría controlar, aunque esto no está indicado aquí, la introducción de unos aditivos al lodo por el interior del depósito mezclador 140A.

(0245) Por consiguiente, en base al punto de ajuste de valor pH 186', que es recibido del controlador 1500A del sistema de control MPCC 1500, el controlador PID 180 genera una señal que hace que la válvula 199 se abra ó se cierre, con lo cual es incrementado ó reducido el flujo del lodo de piedra caliza fresco 141' hacia el interior del cristizador 134. El controlador PID continúa con este control del ajuste de la válvula hasta que el volumen del lodo de piedra caliza 141', que fluye a través de la válvula 199, haya alcanzado el punto de ajuste de una variable MVSP, representado aquí por el punto de ajuste 196' del flujo de lodo de piedra caliza. Es evidente que este tipo de ajuste pueda ser efectuado, de forma preferente, por medio de un controlador PID (no indicado aquí) que forma parte integrante de la válvula 199. No obstante, este ajuste también podría ser efectuado, como alternativa, por el controlador PID 180 en base a unos datos sobre el volumen del flujo, los cuales son medidos en la válvula para ser transmitidos desde la misma.

Mantener el cumplimiento de los requisitos de la eliminación del SO₂

(0246) Por controlar el valor pH del lodo 148', el sistema de control MPCC 1500 puede controlar tanto la eliminación del SO₂ dentro del gas de combustión 114, que está cargado del SO₂, como al mismo tiempo la calidad del subproducto de yeso 160' que es producido por el subsistema de WFGD. Un aumento en el valor pH del lodo 148' por incrementarse el flujo del lodo de piedra caliza fresco 141' a través de la válvula 199 tendrá por resultado un

aumento en la cantidad del SO₂, la que por la torre de absorción 132 es eliminada del gas de combustión 114, que está cargado del SO₂. Por el otro lado, una reducción en el flujo de piedra caliza 141', que pasa por la válvula 199, hace que se reduzca el valor pH del lodo 148'. Una reducción en la cantidad del SO₂ absorbido, que está fluyendo (ahora en la forma de sulfito de calcio) hacia el cristizador 134, también tendrá por resultado un mayor porcentaje del sulfito de calcio que dentro del cristizador 134 está siendo oxidado para formar el sulfato de calcio consiguiéndose, por lo tanto, una mayor calidad del yeso.

(0247) Por consiguiente, existe una tensión entre dos objetivos de control primarios; el primer objetivo consiste en eliminar el SO₂ del gas de combustión 114, que está cargado de SO₂, mientras que el segundo objetivo consiste en producir un subproducto de yeso 160' que tenga la deseada calidad. Esto quiere decir que puede haber un conflicto de control entre el cumplimiento de los requisitos para la emisión del SO₂ y las especificaciones para el yeso.

(0248) Nos referimos ahora también a la Figura 17, que indica más detalles sobre la estructura y la operación, tanto de las bombas de lodo 133 como de la torre de absorción 132. Según lo indicado, las bombas de lodo 133 comprenden una multitud de bombas separadas, indicadas en este ejemplo de realización como las bombas de lodo 133A, 133B y 133C, las que bombean el lodo 148' desde el cristizador 134 hacia la torre de absorción 132. Tal como anteriormente descrito en relación con la Figura 3, cada una de las bombas, 133A hasta 133C, dirige el lodo hacia uno de una multitud de distintos niveles de las toberas de lodo 306A, 306B y 306C dentro de la torre de absorción. Cada uno de los niveles de lodo, 306A hasta 306C, dirige el lodo hacia un distinto pulverizador de una multitud de niveles de pulverizadores de lodo 308A, 308B y 308C. Los pulverizadores de lodo, 308A hasta 308C, pulverizan el lodo - en este caso el lodo 148' - hacia el interior del gas de combustión 114, que está cargado del SO₂ y el mismo entra en la torre de absorción 132 por la abertura de entrada de gas 310 para que sea absorbido el SO₂. A continuación, el gas de combustión limpio 116' es despedido de la torre de absorción 132 por la abertura de salida 312. Tal como también descrito anteriormente, un lavado de pulverización ME 200 es dirigido hacia el interior de la torre de absorción 132. Es evidente que, si bien aquí están indicados tres distintos niveles de toberas y de pulverizadores de lodo, así como tres distintas bombas, la cantidad tanto de los niveles de toberas y de pulverizadores como de las bombas puede variar - y con toda probabilidad lo hará - en función de las particulares formas de realización.

(0249) Tal como indicado en la Figura 15A, los valores del estado de las bombas 1512 son retornados desde unos controles del estado de bombas 1511 - como, por ejemplo, desde unos interruptores de conexión/desconexión - mientras que los valores de carga de las bombas 1515 son retornados desde unos controles de carga de las bombas 1514 - como, por ejemplo, desde un motor - hacia el control MPCC1500 a efectos de su introducción en el modelo de control dinámico. Tal como también indicado aquí, los puntos de ajuste 1513 del estado de las bombas - como, por ejemplo, la instrucción de conectar ó desconectar un interruptor - son pasados hacia los controles 1511 del estado de las bombas, mientras que los puntos de ajuste 1516 para la carga de las bombas son pasados hacia los controles de carga 1514 de las bombas por parte del control MPCC 1500, esto con el fin de controlar el estado, es decir, la conexión ó desconexión así como la carga de cada una de las bombas, 133 A hasta 133C, y para de este modo controlar hacia cual de los niveles de toberas es bombeado el lodo 148' y que cantidad del lodo 148' es bombeada hacia cada uno de los niveles de toberas. Ha de tenerse en cuenta que en las aplicaciones más usuales de la desulfuración WFGD, las bombas de lodo 133 no comprenden la posibilidad de variar la carga (solamente disponen de conexión/desconexión), de tal modo que los puntos de ajuste 1516 de la carga de bombas y los controles de carga 1514 no estarían disponibles para su empleo ó su ajuste por parte del control MPCC 1500.

(0250) Tal como detallado en el ejemplo de realización, que está representado en la Figura 17, los controles de estado de bombas 1511 comprenden un individual control de estado para cada una de las bombas, identificados por las referencias 1511A, 1511B y 1511C. Del mismo modo que los controles de carga de bombas 1514 comprenden un respectivo control de carga para cada una de las bombas, identificados por las referencias 1514A, 1514B y 1514C. Los individuales valores del estado de bomba 1512A, 1512B y 1512C son aportados al control MPCC 1500 desde los controles del estado de bombas 1511A, 1511B y 1511C, respectivamente, para indicar el estado actual de la bomba de lodo. De una manera similar, los individuales valores de carga de bombas 1515A, 1515B y 1515C son aportados al control MPCC 1500 desde los controles de carga de bombas 1514A, 1514B y 1514C, respectivamente, para indicar la carga actual de cada bomba de lodo. En base a los valores del estado de bombas 1512A, 1512B y 1512C, el control MPCC 1500 ejecuta la lógica de predicción 850 con el fin de determinar el estado actual de cada una de las bombas 133A, 133B y 133C y, por consiguiente, determina lo que es conocido como la alineación de bombas, en cualquier momento.

(0251) Tal como comentado más arriba, la relación entre la velocidad de flujo del lodo líquido 148', que entra en la torre de absorción 132, y la velocidad de flujo del gas de combustión 114, que entra en la torre de absorción 132, esta caracterizada como la relación LG : LG y representa el parámetro clave para el diseño del subsistema de WFGD. Teniendo en cuenta que la velocidad de flujo del gas de combustión 114, representada por G, es ajustada corriente arriba de la unidad de procesamiento 130' de WFGD, normalmente por parte del operador del sistema de generación de energía 110, la misma no se encuentra controlada, ni puede ser controlada. Sin embargo, la velocidad de flujo del lodo 148', representada por I, puede ser controlada por el sistema de control MPCC 1500 en base al valor de G.

(0252) Una manera en la que esto puede ser llevado a efecto consiste en controlar la operación de las bombas de lodo 133A, 133B y 133C. Las bombas individuales son controladas por el sistema MPCC 1500 por emitir el mismo

los puntos de ajuste de estado de bombas 1513A, 1513B y 1513C para los controles de estado de bombas 1511A de la bomba 133A, 1511B de la bomba 133B y 1511C de la bomba 133C, respectivamente, para obtener la deseada alineación entre las bombas y, por consiguiente, conseguir los niveles a los cuales el lodo 148' entrará en la torre de absorción 132. Al estar esto previsto en el subsistema de la WFGD, el sistema MPCC 1500 también puede emitir
 5 unos puntos de ajuste de control de carga de bombas 1516A, 1516B y 1516C para los controles de carga de bombas 1514A de la bomba 133A, 1514B de la bomba 133B y 1514C de la bomba 133C, respectivamente, con el fin de obtener el deseado volumen de flujo del lodo 148' hacia el interior de la torre de absorción 132 y por cada nivel activo de toberas. De este modo, el sistema MPCC 1500 determina la velocidad del flujo L del lodo líquido 148' hacia la torre de absorción 132 por controlar hacia cual de los niveles de toberas, 306A hasta 306C, está siendo
 10 bombeado el lodo 148' y por controlar la cantidad de lodo 148' que está siendo bombeada hacia cada nivel de toberas. Es evidente que cuanto mayor sea el número de las bombas y de los niveles de toberas, tanto mayor será la envergadura de un tal control.

(0253) El bombeo del lodo 148' hacia las toberas de un nivel más alto como, por ejemplo, hacia las toberas 306A, tiene por consecuencia que el lodo, que está siendo pulverizado desde los pulverizadores de lodo 308A, mantenga un período de contacto relativamente largo con el gas de combustión 114, que está cargado del SO₂. Esto, a su vez, surte el efecto de la absorción de una cantidad relativamente mayor de SO₂ del gas de combustión 114 por parte del lodo, en comparación con un lodo que entra en la torre de absorción a unos niveles de pulverización más bajos. Por el otro lado, el bombeo del lodo hacia las toberas de un nivel más bajo - como, por ejemplo, hacia las toberas 306C -
 15 tiene por consecuencia que el lodo 148', que está siendo pulverizado desde los pulverizadores de lodo 308C, mantenga un período de contacto relativamente corto con el gas de combustión 114, que está cargado del SO₂. Esto tiene por resultado la absorción de una cantidad relativamente menor de SO₂ del gas de combustión 114 por parte del lodo. Por consiguiente, si del gas de combustión 114 puede ser eliminada una mayor cantidad ó una menor cantidad del SO₂, con la misma cantidad de lodo y con la misma composición de éste, está en función del
 20 nivel de toberas hacia el cual es bombeado el lodo.

(0254) Sin embargo, el hecho de bombear el lodo líquido 148' hacia las toberas de un nivel más elevado - como, por ejemplo, hacia las toberas 306A - requiere relativamente más energía y, por lo tanto, origina unos mayores costos de operación, en comparación con un bombeo del lodo líquido 148' hacia las toberas de un nivel más bajo como, por ejemplo, hacia las toberas 306C. Por consiguiente, por bombearse más lodo líquido hacia las toberas de un nivel más elevado para así incrementar la absorción - y, por lo tanto, también la eliminación del azufre del gas de combustión 114 - se incrementan los costos de operación del subsistema de WFGD.
 30

(0255) Las bombas, 133A hasta 133C, constituyen unos elementos extremadamente grandes de un equipo rotatorio. Estas bombas pueden ser puestas en marcha y ser paradas, de forma automática por el sistema de control MPCC 1500 por emitir éste los puntos de ajuste del estado de las bombas, ó bien de manera manual por parte del operador del subsistema ó de otro usuario. Al ser la velocidad de flujo del gas de combustión 114, que entra en la torre de absorción 132, modificada a causa de un cambio en la operación del sistema de generación de energía 110, el control MPCC 1500, que ejecuta la lógica de predicción 850, ajustará - en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y con la lógica generadora de control 860 - la operación de una ó de varias bombas de lodo 133A hasta 133C. Por ejemplo, al bajar la velocidad de flujo del gas de combustión al 50 % de la carga prevista, el sistema de control MPCC 1500 puede emitir uno ó varios puntos de ajuste de estado de bombas, SPs, para parar, es decir, desconectar una ó varias bombas que actualmente están bombeando el lodo 148' hacia las toberas de uno ó de varios niveles de pulverización dentro de la torre de absorción, y/ó puede emitir uno ó varios puntos de ajuste
 35 de control de carga de bombas, SPs, para reducir la carga de una ó de varias bombas que actualmente están bombeando el lodo hacia las toberas de uno ó de varios niveles de pulverización dentro de la torre de absorción.

(0256) Además, al estar previsto un alimentador de ácido orgánico ó de unas sustancias similares (no indicados aquí) como parte integrante del mezclador/depósito 140 ó como un subsistema separado que aporta el ácido orgánico directamente al proceso, el control MPCC 1500 también puede emitir unas señales de control de puntos de ajuste (no indicadas aquí) para reducir la cantidad del ácido orgánico ó de otro aditivo similar que están siendo añadidos al lodo con el fin de reducir la capacidad del lodo para absorber - y, por lo tanto, eliminar - el SO₂ del gas de combustión. Se ha de tener en cuenta que estos aditivos tienden a ser bastante caros y, por consiguiente, su empleo es relativamente limitado, por lo menos en los Estados Unidos de América. Otra vez: Existe cierta contradicción entre la eliminación del SO₂ y los costos de operación; los aditivos son caros, pero los mismos pueden mejorar significativamente la eliminación del SO₂ con ningún ó con muy poco impacto sobre la pureza del yeso. Al comprender el subsistema de WFGD un subsistema de inyección de aditivos, en este caso podría ser apropiado permitir que el sistema MPCC 1500 controle la inyección de los aditivos, con una adaptación a las otras variables del proceso de WFGD, de tal manera que el sistema MPCC 1500 pueda hacer operar el proceso de WFGD a los más reducidos costos de operación posibles encontrándose, sin embargo, todavía dentro de los límites de funcionamiento del equipo así como dentro de las exigencias legales. Por introducirse los datos del costo de estos aditivos en el sistema MPCC 1500, este factor de costos puede ser incluido en el modelo de control dinámico, y el mismo es tenido en consideración al ser ejercitada la lógica de predicción durante la dirección del control del proceso de desulfuración WFGD.
 40
 45
 50
 55
 60
 65

Impedir la obstrucción por piedra caliza

(0257) Tal como anteriormente comentado, con el fin de oxidar el absorbido SO_2 para constituir el yeso, ha de tener lugar una reacción química entre el SO_2 y la piedra caliza dentro del lodo por el interior de la torre de absorción 132. Durante esta reacción química, el oxígeno es consumido para formar el sulfato de calcio. El gas de combustión 114, que entra en la torre de absorción 132, es pobre en oxígeno O_2 , de tal manera que normalmente es añadido el O_2 al lodo líquido que fluye hacia la torre de absorción 132.

(0258) Nos referimos ahora a la Figura 18 que indica un soplador 150 que normalmente está caracterizado como un ventilador y el mismo comprime el aire del ambiente 152. El resultante aire comprimido de oxidación 154 es dirigido hacia el cristizador 134 para ser aplicado sobre el lodo dentro del cristizador 134, el cual será bombeado hacia la torre de absorción 132, tal como esto ha sido descrito anteriormente en relación con la Figura 17. La adición del aire comprimido de oxidación 154 al lodo dentro del cristizador 134 tiene por resultado el lodo reciclado 148' que fluye desde el cristizador 134 hacia la torre de absorción 132 teniendo ahora, sin embargo, un mayor contenido en oxígeno, lo cual facilitará la oxidación y, por consiguiente, la formación del sulfato de calcio.

(0259) Existe, de forma preferente, un exceso de oxígeno dentro del lodo 148'; no obstante, debe reconocerse que hay un límite superior para la cantidad de oxígeno que puede ser absorbida ó mantenida por el lodo. Para facilitar la oxidación, es conveniente dejar funcionar la desulfuración WFGD con una significativa cantidad de exceso del O_2 dentro del lodo.

(0260) También debe reconocerse que, al ser demasiado baja la concentración del O_2 dentro del lodo, la reacción química entre el SO_2 dentro del gas de combustión 114 y la piedra caliza dentro del lodo se ralentizará ó, dado el caso, incluso deja de producirse. Al presentarse este fenómeno, se habla, por regla general, de una obstrucción por piedra caliza.

(0261) La cantidad de oxígeno O_2 , que está disuelto dentro del lodo y que es reciclable por el interior del cristizador 134, no representa ningún parámetro que pueda ser medido. Por consiguiente, el modelo de estimación dinámica 880 comprende preferentemente un modelo para el O_2 disuelto dentro del lodo. La lógica de estimación como, por ejemplo, la lógica de estimación 840 que es ejecutada por el estimador 1500B del control MPCC 1500 en conformidad con el modelo de estimación dinámica 880, computa una estimación del O_2 disuelto dentro del lodo, que es reciclable dentro del cristizador 134. La computada estimación es pasada al controlador 1500A del sistema de control MPCC 1500, el cual aplica la computada estimación para actualizar el modelo de control dinámico, es decir, el modelo de control dinámico 870. A continuación, el controlador 1500A ejecuta una lógica de predicción como, por ejemplo, la lógica de predicción 850 que compara el estimado valor del O_2 , disuelto dentro del lodo, con el valor de una exigencia con respecto al O_2 disuelto dentro del lodo, el cual había sido introducido en el sistema de control MPCC 1500. Este exigido valor del O_2 disuelto dentro del lodo es una de las exigencias 1555 representadas en la Figura 15B, y la misma está indicada con más detalles en la Figura 19 como el requisito 1926 para el O_2 disuelto dentro del lodo.

(0262) En base al resultado de la comparación, el controlador 1500A ejecutará todavía la lógica de predicción y determina si en las operaciones del subsistema 130' de WFGD hace falta cualquier ajuste con el fin de asegurar que el lodo 148', que está siendo bombeado hacia la torre de absorción 132, no esté privado del oxígeno. Ha de tenerse en cuenta que el hecho de asegurar que el lodo 148' tenga la suficiente cantidad de O_2 , disuelto dentro del mismo, ayudará también en asegurar que las emisiones de SO_2 y la calidad del subproducto del yeso continúen cumpliendo con las condiciones, establecidas en cuanto a las emisiones y a la calidad.

(0263) Tal como indicado en las Figuras 15A y 18, el soplador 150 comprende un mecanismo de control de carga 1501 que también es conocido como mecanismo de control de velocidad del soplador, y el mismo puede regular el flujo del aire de oxidación hacia el cristizador 134. Este mecanismo de control de carga 1501 puede ser empleado para regular la carga del soplador 150 y, por consiguiente, regular también la cantidad del aire comprimido de oxidación 154', que ha de entrar en el cristizador 134, para de este modo facilitar cualquier ajuste que sea necesario para las operaciones del subsistema 130' de WFGD a la vista del resultado de la comparación. La operación del mecanismo de control de carga 1501 es controlada, de forma preferente, directamente por el controlador 1500A. No obstante, y al ser esto deseado, este mecanismo de control de carga 1501 también puede ser controlado de forma manual por el operador del subsistema y en base a un dato de salida desde el controlador 1500A, instruyendo así al operador a efectuar el apropiado control manual del mecanismo de control de carga 1501. En cualquier caso, el controlador 1500A ejecuta - en base al resultado de la comparación - la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870, para determinar si hace falta un ajuste en la cantidad del aire comprimido de oxidación 154', que entra en el cristizador 134, con el fin de asegurar que el lodo 148', que está siendo bombeado hacia la torre de absorción 132, no esté privado del O_2 y, al ser este el caso, el controlador determinará la cantidad del ajuste. El controlador 1500A ejecuta entonces una lógica generadora de control como, por ejemplo, la lógica generadora de control 860, a la vista del valor de carga 1502 del soplador, el cual ha recibido el control MPCC 1500 del mecanismo de control de carga 1501, esto al objeto de generar unas señales de control para dirigir el mecanismo de control de carga 1501 con el fin de modificar la carga del soplador 150 para ajustar la cantidad del aire comprimido de oxidación 154, que entra en el cristizador 134, a la cantidad deseada que asegurará que el lodo 148', que está siendo bombeado hacia la torre de absorción 132, no se encuentre privado del O_2 .

(0264) Tal como anteriormente comentado, la privación de O₂ representa sobre todo un problema durante los meses del verano, que es cuando el calor reduce la cantidad de aire comprimido de oxidación 154' que por el soplador 150 puede ser forzado hacia el interior del cristizador 134. La lógica de predicción 850, ejecutada por el controlador 1500A, puede determinar, por ejemplo, que la velocidad ó la carga del soplador 150, la cual es introducida en el sistema MPCC 1500 como el valor de carga 1502 del soplador, ha de ser ajustada para incrementar por una determinada cantidad el volumen del aire comprimido de oxidación 154', que está entrando en el cristizador 134. La lógica generadora de control, que es ejecutada por el controlador 1500A, determina entonces el punto de ajuste SP 1503 para la carga del soplador, el cual resultará del deseado incremento en el volumen del aire comprimido de oxidación 154'. De forma preferente, este punto de ajuste de carga de soplador SP 1503 es transmitido por el control MPCC 1500 hacia el mecanismo de control de carga 1501 que efectúa un incremento en la carga del soplador 150, el cual corresponde al punto de ajuste 1503 de la carga del soplador, siendo impedida, de este modo, una obstrucción por piedra caliza y asegurándose al mismo tiempo que tanto las emisiones del SO₂ como la calidad del subproducto del yeso se encuentren dentro de las normas aplicables.

(0265) Es evidente que un incremento en la velocidad ó en la carga del soplador 150 incrementará, asimismo, el consumo de energía del soplador y elevará, por consiguiente, también los costos de operación del subsistema 130' de WFGD. También este incremento de los costos es controlado de forma preferente por el sistema de control MPCC 1500 durante el propio control del subsistema 130' de WFGD, proporcionando así un incentivo económico en cuanto al control del soplador 150, para que éste dirija hacia el interior del cristizador 134 solamente la necesaria cantidad del aire comprimido de oxidación 154'.

(0266) Tal como indicado en la Figura 19, el actual costo/unidad de energía, representado como el costo de unidad de energía 1906, es introducido en el sistema MPCC 1500 preferentemente como una de las entradas no relacionadas con el proceso 1550, indicadas en la Figura 15B, y el mismo está incluido en el modelo de control dinámico 870. Empleando esta información, el controlador 1500A del sistema MPCC 1500 también puede computar y visualizar al operador del subsistema ó a otros usuarios el cambio en el costo de operación, el cual está basado en un ajuste en el flujo del aire comprimido de oxidación 154' hacia el cristizador 134.

(0267) Por consiguiente, y en el supuesto de que no haya ningún exceso en la capacidad del soplador 150, el controlador 1500A controlará normalmente el flujo del aire comprimido de oxidación 154' hacia el cristizador 134 con el fin de asegurar que haya suficiente aire para impedir la obstrucción por piedra caliza. Sin embargo, al estar el soplador 150 trabajando a plena carga y al ser la cantidad de aire comprimido de oxidación 154', que está fluyendo hacia el cristizador 134, todavía insuficiente para evitar una tal obstrucción - es decir, cuando se necesita el aire adicional (oxígeno) para la oxidación de todo el SO₂ que está siendo absorbido dentro de la torre de absorción 132 - el controlador 1500A tendrá la necesidad de implementar una alternativa estrategia de control. En relación con ello, y una vez que el SO₂ haya sido absorbido por el lodo, el mismo tiene que ser oxidado para formar el yeso; sin embargo, al no haber un oxígeno adicional para someter el SO₂ a la oxidación, lo mejor en este caso sería no absorber el SO₂ teniendo en cuenta que, si el SO₂ no puede ser oxidado, se puede presentar muy probablemente una obstrucción por piedra caliza.

(0268) En estas circunstancias, el controlador 1500A dispone de otra opción que puede ser aplicada para el control de las operaciones del subsistema 130' de la WFGD con el fin de asegurar que una tal obstrucción no se pueda producir. Más concretamente, el controlador 1500A - que ejecuta la lógica de predicción 850 en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y con la lógica generadora de control 860 - puede controlar el controlador PID 180 con el fin de ajustar el nivel del valor pH del lodo 141', que fluye hacia el cristizador 134, y controlar, de este modo, también el nivel del valor pH del lodo 148' que está siendo bombeado hacia la torre de absorción 132. Por producir una reducción en el nivel del valor pH del lodo 148', que está siendo bombeado hacia la torre de absorción 132, la adicional absorción marginal del SO₂ puede ser reducida, y quedará impedida la obstrucción por piedra caliza.

(0269) Todavía otra estrategia alternativa, que puede ser implementada por el controlador 1500A, consiste en trabajar fuera de las exigencias 1555, indicadas en la Figura 15B. En particular, el controlador 1500A podría implementar una estrategia de control según la cual por el interior del cristizador 134 no sería oxidada tanta cantidad del SO₂ dentro del lodo 148'. Como consecuencia, se reduciría la cantidad del oxígeno O₂, necesaria dentro del cristizador 134. Sin embargo, esta acción degradaría, en cambio, la pureza del subproducto del yeso 160', producido por el subsistema 130' de la WFGD. Aplicando esta estrategia, el controlador 1500A sobrepasaría una ó varias exigencias ó condicionantes 1555 en el control del funcionamiento del subsistema 130' de la desulfuración WFGD. De forma preferente, el controlador cumple con las severas exigencias en cuanto al SO₂ dentro del gas de combustión limpio 116', las cuales están representadas en la Figura 19 como los requisitos del permiso de salida de SO₂ 1922, y el controlador se sale de los requisitos, indicados en la Figura 19 como las exigencias para la pureza de yeso 1924 reduciendo, efectivamente, la pureza especificada para el subproducto del yeso 160'.

(0270) Por consiguiente, una vez que haya sido alcanzado el límite de la máxima capacidad del soplador, el controlador 1500A puede controlar la operación del subsistema 130' de la WFGD para reducir el valor pH del lodo 148' que entra en la torre de absorción 132 y reducir con ello la absorción del SO₂, bajándola al límite de emisión, es decir, al requisito de permiso de salida de SO₂ 1922. Sin embargo, si cualquier adicional reducción en la absorción del SO₂ origina una violación de los requisitos del permiso de salida de SO₂ 1922, y al ser la capacidad del soplador insuficiente para proporcionar la necesaria cantidad de aire (oxígeno) para oxidar todo el absorbido SO₂, que ha de

ser eliminado, el equipo físico, es decir, el soplador 250 y/o el cristizador 134 resultan ser pequeños, y no es posible cumplir ni con los requisitos de la eliminación del SO₂ ni con las exigencias de la pureza del yeso. Teniendo en cuenta que el sistema de control MCC 1500 no puede proporcionar el necesario oxígeno adicional, el mismo ha de tener en consideración una estrategia alternativa. Bajo esta estrategia alternativa, el controlador 1500A controla la operación del subsistema 130' de WFGD con el fin de mantener el actual nivel de eliminación del SO₂, es decir, para cumplir los requisitos de permiso de salida de SO₂ 1922, así como con el fin de producir el yeso cumpliendo, sin embargo, unas exigencias un tanto relajadas para la pureza del yeso, es decir, cumplir con unos requisitos de la pureza del yeso, los cuales son inferiores a los datos de entrada de la exigencia de pureza de yeso 1924. De una manera conveniente, el controlador 1500A reduce al mínimo la desviación entre los más reducidos requisitos de la pureza del yeso y la deseada exigencia de pureza de yeso 1924. Ha de tenerse en cuenta que para el controlador 1500A existe todavía otra alternativa para controlar la operación del subsistema 130' de la WFGD, y esto en conformidad con una estrategia híbrida que implementa aspectos de las dos estrategias anteriormente descritas. Estas alternativas estrategias de control pueden ser implementadas por establecer dentro del sistema de control MPCC 1500 unos parámetros de sintonización de tipo estándar.

Operaciones del sistema de control MPCC

(0271) Tal como anteriormente descrito, el sistema de control MPCC 1500 tiene la capacidad de controlar grandes subsistemas de la desulfuración WFGD para aplicaciones en la generación de energía y dentro de un sistema de distribuido control. Son prácticamente ilimitados los parámetros que pueden ser controlados por este sistema de control; sin embargo, estos parámetros comprenden, de forma preferente, por lo menos uno ó varios de los parámetros siguientes: (1) El valor pH del lodo 148' que entra en la torre de absorción 132; (2) La alineación de bombas de lodo que aportan el lodo líquido 148' a los distintos niveles de la torre de absorción 132; y (3) la cantidad del aire comprimido de oxidación 154' que entra en el cristizador 134. Ha de tenerse en cuenta que es el modelo de control dinámico 870 que contiene las relaciones básicas del proceso, las que por el sistema de control MPCC 1500 serán aplicadas para gestionar el control del proceso de la desulfuración WFGD. Por consiguiente, las relaciones establecidas en el modelo de control dinámico 870 son de primordial importancia para el control MPCC 1500. Con respecto a ello, el modelo de control dinámico 870 se refiere a varios parámetros como, por ejemplo, al valor pH y a los niveles del aire de oxidación; a varios condicionantes ó exigencias como, por ejemplo, en cuanto a la pureza del yeso y a los niveles de eliminación del SO₂, y son concretamente estas relaciones las que permiten un control dinámico y flexible del subsistema 130' de WFGD, tal como esto será descrito más abajo con mayor detalle.

(0272) La Figura 19 indica, de una manera más detallada, los preferidos parámetros y las exigencias, cuyos datos son introducidos para ser empleados por el controlador 1500A del sistema MPCC 1500. Tal como esto será descrito más detalladamente a continuación, el controlador 1500A ejecuta una lógica de predicción como, por ejemplo, la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y en base a los parámetros y a las exigencias introducidos, con el fin de pronosticar los estados futuros del proceso de WFGD así como para dirigir el control del subsistema 130' de la WFGD con el objeto de optimizar el proceso de WFGD. El controlador 1500A ejecuta entonces una lógica generadora de control como, por ejemplo, la lógica generadora de control 860 en conformidad con las directrices de control, procedentes de la lógica de predicción, para generar y emitir unas señales de control con el fin de controlar unos elementos específicos del subsistema 130' de la WFGD.

(0273) Tal como anteriormente descrito en relación con la Figura 15B, los parámetros introducidos comprenden unos parámetros de proceso medidos 1525; unos parámetros no relacionados con el proceso 1550; las exigencias de proceso 1555 de la WFGD; así como unos parámetros estimados 1560, computados por el estimador 1500B del sistema MPCC, el cual ejecuta una lógica de estimación como, por ejemplo, la lógica de estimación 840, en conformidad con el modelo de estimación dinámica 880.

(0274) Según la preferida forma de realización, representada en la Figura 19, los medidos parámetros de proceso 1525 comprenden las condiciones ambientales 1520; la medida carga 1509 del sistema de generación de energía (PGS); la medida entrada de SO₂ 189; el valor de carga 1502 del soplador; el medido valor pH de lodo 183; la medida salida de SO₂ 1505; la pureza de yeso medida en laboratorio 1506; los valores de estado 1512 de las bombas de lodo; y los valores de carga 1515 de las bombas de lodo. Las exigencias para el proceso de la WFGD comprenden la salida del SO₂; los requisitos de permiso 1922; los requisitos de pureza del yeso 1922; los requisitos de O₂ disuelto en lodo 1926; y los requisitos del valor pH 1928 del lodo. Las entradas no relacionadas con el proceso 1550 comprenden los factores de sintonización 1902; el actual precio de abono para SO₂ 1904; el actual costo por unidad de energía 1906; el actual costo de ácido orgánico 1908; el actual precio de venta de yeso 1910; y los planes de operación futuros 1950. Los estimados parámetros 1560, computados por el estimador 1500B, comprenden la calculada pureza de yeso 19323; el calculado O₂ disuelto en lodo 1934; y el calculado valor pH del lodo 1936. Gracias a la inclusión de las entradas de los parámetros no relacionados con el proceso como, por ejemplo, el costo actual por unidad de energía 1906, el sistema de control MPCC 1500 puede gestionar el control del subsistema 130' de WFGD no solamente en base al estado actual del proceso, sino también en base al estado de condiciones no directamente relacionadas con el proceso.

Determinar la disponibilidad de la capacidad de una absorción adicional del SO₂

(0275) Tal como anteriormente comentado en relación con la Figura 17, el sistema de control MPCC 1500 puede controlar el estado y la carga de las bombas, 133A hasta 133C, y controlar, de este modo, también el flujo del lodo

148' hacia los distintos niveles de la torre de absorción 132. El sistema de control MPCC 1500 también puede computar el actual consumo de energía de las bombas, 133A hasta 133C, en base a la correspondiente alineación de las bombas y a los actuales valores de carga, 1515A hasta 1515C, de las bombas así como, adicionalmente, el mismo puede computar los actuales costos de operación de las bombas en base al computado consumo de energía y al actual coste por unidad de energía 1906.

(0276) Este control MPCC 1500 está configurado, de forma preferente, para ejecutar la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y en base a los actuales valores de estado de bombas, 1512A hasta 1512C, así como a los actuales valores de carga de bombas, 1515A hasta 1515C, con el fin de determinar una adicional capacidad, disponible de las bombas, 133A hasta 133C. El sistema de control MPCC 1500 determina entonces – sobre la base de la determinada cuantía de una disponible capacidad adicional de las bombas – la adicional cantidad del SO₂, la que puede ser eliminada a través de un ajuste de las bombas como, por ejemplo, por conectar una bomba para así cambiar la alineación de las bombas ó por incrementar la energía para una bomba.

Determinar la adicional cantidad del SO₂, disponible para su eliminación

(0277) Según lo indicado más arriba, y adicionalmente a la medida composición de entrada 189 del SO₂, la cual es detectada por el sensor 188, la carga 1509 del sistema de generación de energía (PGS) 110 es detectada preferentemente por el sensor de carga 1508, y esta carga también es introducida en el sistema MPCC 1500 como un parámetro medido. La carga 1509 del sistema PGS 110 puede representar, por ejemplo, una determinada medida de las BTUs (British Thermal Units ó Unidades Térmicas Británicas) del carbón, que está siendo consumido, ó de la cantidad de energía que está siendo generada por el sistema de generación de energía 110. No obstante, la carga 1509 del sistema PGS también podría representar cualquier otro parámetro del sistema de generación de energía 110 ó del correspondiente proceso de generación de energía, siempre que la medida de un tal parámetro corresponda razonablemente a la carga de entrada del gas de combustión como, por ejemplo, el parámetro del sistema ó del proceso de la generación de energía por combustión de carbón, el cual corresponda a la cantidad de entrada del gas de combustión en el subsistema 130' de la WFGD.

(0278) El control MPCC 1500 está configurado, de forma preferente, para ejecutar la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870, para determinar la carga de entrada del gas de combustión, es decir, el volumen ó la masa de la entrada del gas de combustión 114 en la torre de absorción 132, la cual corresponde a la carga 1509 del sistema de generación de energía PGS. El control MPCC 1500 puede, por ejemplo, computar la carga de entrada del gas de combustión en la torre de absorción 132 en base a la carga del PGS 110. Como alternativa, la propia carga 1509 del PGS 110 podría servir también como carga de entrada del gas de combustión, en cuyo caso no haría falta ninguna computación. En cualquiera de los casos, el sistema de control MPCC 1500 determinará entonces la cantidad adicional del SO₂, la cual esté disponible para su eliminación del gas de combustión 114 en base a la medida composición de entrada 189 del SO₂ y a la medida salida 1505 del SO₂.

(0279) Ha de tenerse en cuenta que la carga de entrada del gas de combustión también podría ser medida directamente para ser introducida en el sistema de control MPCC 1500, si esto fuera necesario. A este efecto, una actual medición del volumen ó de la masa del gas de combustión 114 de entrada, que está siendo dirigido hacia la torre de absorción 132, podría opcionalmente ser detectada por un sensor (no indicado aquí) - situado corriente arriba de la torre de absorción 132 y corriente abajo de otro subsistema 122 del control de contaminación del aire (APC) - para ser aportada al sistema de control MPCC 1500. En este caso, puede ser que no haya necesidad para el sistema MPCC 1500 de determinar la carga de entrada del gas de combustión, la cual corresponde a la carga 1509 del sistema de generación de energía PGS.

Exigencias para la eliminación del SO₂ por emisiones instantáneas y emisiones de promedio rotativo

(0280) Tal como ya indicado con referencia a la Figura 12, una base de datos históricos del proceso 1210 comprende una base de datos históricos 890 de la emisión del SO₂, la cual está representada, a título de ejemplo, en la Figura 8. La base de datos históricos 1210 del proceso se encuentra conectada al sistema de control MPCC 1500. Ha de tenerse presente que este sistema de control MPCC 1500 puede ser del tipo indicado, por ejemplo, en la Figura 8 ó bien se puede tratar de un controlador a nivel múltiple como, por ejemplo, un controlador a dos niveles, que está indicado en la Figura 10.

(0281) La base de datos históricos 890 de la emisión del SO₂ guarda los datos relacionados con las emisiones del SO₂, no solamente con respecto a la composición del SO₂, sino también en cuanto a las libras de SO₂ emitidas durante el último período del promedio rotativo. Por consiguiente, aparte de tener acceso a una información que representa las actuales emisiones de SO₂ por medio de la introducida y medida salida de SO₂ 1505, desde el analizador de SO₂ 1504 y a través de la conexión a la base de datos históricos 1210 del proceso, el sistema de control MPCC 1500 tiene también acceso a unas informaciones históricas que representan las emisiones de SO₂, es decir, la medida salida del SO₂, durante la última ventana de tiempo del promedio rotativo a través de la base de datos históricos 890 de las emisiones del SO₂. Debe tenerse en cuenta que si bien las emisiones actuales del SO₂ corresponden a un valor individual, las emisiones del SO₂ durante la última ventana de tiempo del promedio rotativo corresponden a un movimiento dinámico de las emisiones del SO₂ durante el período de tiempo aplicable.

Determinar la disponibilidad de una adicional capacidad de oxidación del SO₂

(0282) Según lo indicado en la Figura 19, y tal como comentado más arriba, las entradas al sistema de control MPCC 1500 son unos valores medidos de: (1) la salida de SO₂ 1505; (2) la medida carga de soplador 1502 que corresponde a la cantidad del aire de oxidación que entra en el cristalizador 134; (3) los valores de estado 1512 de las bombas de lodo, es decir, la alineación de bombas, y los valores de carga 1515 de las bombas de lodo, los cuales corresponden a la cantidad del lodo de piedra caliza que fluye hacia la torre de absorción 132; y (4) el medido valor pH 183 del lodo que fluye hacia la torre de absorción 132. Unas adicionales entradas al sistema de control MPCC 1500 pueden ser unos requisitos de limitación sobre: (1) la pureza 1924 del subproducto del yeso; (2) el disuelto O₂ 1926 dentro del lodo por el interior del cristalizador 134, el cual corresponde a la cantidad del O₂ disuelto dentro del lodo, la cual es necesaria para asegurar una suficiente oxidación y para impedir la obstrucción por piedra caliza; y (3) la salida de SO₂ 1922 dentro del gas de combustión 116' que sale del subsistema 130' de la WFGD. Actualmente, los requisitos del permiso de salida de SO₂ 1922 comprenden, por regla general, unas exigencias tanto para las emisiones instantáneas del SO₂ como para las emisiones del SO₂ según el promedio rotativo. Asimismo, algunas entradas al sistema de control MPCC 1500 son unas entradas no directamente relacionadas con el proceso como, por ejemplo: (1) el costo por unidad de energía 1906, es decir, el costo de una unidad de electricidad; y (2) el valor actual ó valor anticipado del precio de abono del SO₂ 1904 que representa el precio al cual puede ser vendido un tal abono de la regulación oficial. El sistema de control MPCC 1500 computa, además, una estimación (1) de la actual pureza 1932 del subproducto del yeso 160'; (2) del O₂ disuelto 1934 dentro del SO₂ por el interior del cristalizador 134; y (3) el valor pH 1936 del lodo que fluye hacia la torre de absorción 132.

(0283) Al ejecutar la lógica de predicción en conformidad con la lógica de control dinámico, el sistema de control MPCC 1500 procesa estos parámetros para determinar la cantidad del SO₂ que se encuentra bajo reacción con el lodo dentro de la torre de absorción 132. En base a esta determinación, el sistema de control MPCC 1500 puede determinar seguidamente la cantidad del O₂ no disuelto, la cual sigue estando disponible dentro del lodo por el interior del cristalizador 134 para la oxidación del sulfito de calcio con el fin de constituir el sulfato de calcio.

Determinar si ha de ser aplicada una adicional capacidad disponible

(0284) Si el sistema de control MPCC 1500 ha determinado que está disponible una capacidad adicional para absorber un SO₂ adicional y para someterlo a la oxidación, y que está disponible un adicional SO₂ para su eliminación, el sistema MPCC 1500 también está configurado, de forma preferente, para ejecutar la lógica de predicción 850 en conformidad con el modelo de control dinámico 870 con el fin de determinar si el subsistema 130' de WFGD ha de ser controlado ó no para efectuar unos ajustes en las operaciones de eliminar del gas de combustión 114 un adicional SO₂ disponible. Para poder efectuar esta determinación, el sistema de control MPCC 1500 puede determinar, por ejemplo, si la generación y la venta de tales abonos de SO₂ pueden incrementar la rentabilidad de las operaciones del subsistema 130' de la WFGD, habida cuenta de que resulta más rentable modificar las operaciones para eliminar el adicional SO₂ hasta por encima de lo que es exigido por el permiso de operaciones, concedido por la respectiva entidad oficial de regulación, es decir, hasta más allá de los requisitos de permiso 1922 para el SO₂, y vender los así obtenidos abonos de regulación.

(0285) El sistema de control MPCC 1500, que ejecuta la lógica de predicción 850 en conformidad con el modelo de control dinámico 870, determinará sobre todo los cambios que son necesarios en las operaciones del subsistema 130' de WFGD para incrementar la eliminación del SO₂. En base a esta determinación, el sistema de control MPCC 1500 también determinará el número de los resultantes abonos de regulación adicionales que se podrán conseguir. En base a los determinados cambios en la operación así como a los actuales ó anticipados costos de electricidad, es decir, al costo por unidad de energía 1906, el sistema de control MPCC 1500 determinará adicionalmente los resultantes costos de electricidad adicionales, determinados como necesarios para los cambios en las operaciones del subsistema 130' de WFGD. En base a estas últimas determinaciones y al actual ó anticipado precio de estos abonos, es decir, en base al precio de abono 1904 del SO₂, el sistema de control MPCC 1500 determinará, además, si el costo para la generación de estos adicionales abonos de regulación es mayor que el precio al cual puede ser vendido un tal abono de regulación.

(0286) Si, por ejemplo, el precio de un abono es bajo, la generación y la venta de adicionales abonos puede que no sean convenientes. En lugar de ello, la eliminación del SO₂ al nivel mínimo necesario para cumplir con el permiso de operaciones, concedido por la correspondiente entidad oficial de regulación, reducirá al mínimo los costos y, por consiguiente, aumentará al máximo la rentabilidad de las operaciones del subsistema 130' de WFGD, teniendo en cuenta que es más rentable eliminar solamente la cantidad del SO₂, la cual es exigida para cumplir mínimamente con los requisitos del permiso de salida 1922 del SO₂ según el permiso de operaciones, concedido por la respectiva entidad oficial de regulación. Si los abonos ya están siendo generados por las actuales operaciones del subsistema 130' de la WFGD, el sistema de control MPCC 1500 puede incluso dirigir unos cambios en las operaciones del subsistema 130' de la WFGD, con el fin de reducir la eliminación del SO₂ y, por consiguiente, parar cualquier adicional generación de abonos de SO₂ y reducir, de este modo, los costos de electricidad y aumentar, por lo tanto, la rentabilidad de las operaciones.

Establecer prioridades para las operaciones

(0287) La Figura 19 muestra, asimismo, que el sistema de control MPCC 1500 también puede estar configurado, de forma preferente, para recibir unos factores de sintonización 1902 como otras de las entradas 1550 no directamente

relacionadas con el proceso. El sistema de control MPCC 1500, que ejecuta la lógica de predicción en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y los factores de sintonización 1902, puede establecer prioridades para las variables de control, empleando para ello, por ejemplo, las respectivas ponderaciones de cada una de las variables de control.

5 (0288) En relación con ello, preferentemente las exigencias 1555 podrán establecer, dado el caso, una deseada gama para cada una de las exigidas limitaciones de los parámetros. De este modo, por ejemplo, cada uno de los requisitos de permiso de salida 1922 del SO₂; de los requisitos de pureza de yeso 1924; de los requisitos del O₂ disuelto 1926 y de los requisitos de valor pH 1928 para el lodo tienen unos límites altos y bajos, y el sistema de control MPCC 1500 mantendrá las operaciones del subsistema 130' de WFGD dentro de la gama basada en los factores de sintonización 1902.

Evaluación del futuro proceso de la desulfuración WFGD

15 (0289) El sistema de control MPCC 1500, que ejecuta la lógica de predicción 850 en conformidad con el modelo de control dinámico 870, evalúa, preferentemente en primer lugar, el estado actual de las operaciones del proceso, tal como comentado anteriormente. Sin embargo, la evaluación no tiene porque parar aquí. De forma preferente, el sistema de control MPCC 1500 también puede estar configurado para ejecutar la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y con el fin de evaluar hacia donde se dirigirán las operaciones del proceso si no se introducen cambios en las operaciones del subsistema 130' de la WFGD.

20 (0290) Más concretamente, el sistema de control MPCC 1500 evalúa el futuro estado de las operaciones del proceso en base a las relaciones dentro del modelo de control dinámico 870 y en base a los datos históricos del proceso, memorizados en la base de datos históricos 1210. Estos datos históricos del proceso comprenden los datos dentro de la base de datos históricos del SO₂, al igual que otros datos que representan lo que anteriormente ha ocurrido dentro del proceso de la WFGD durante un periodo de tiempo previamente definido. Como parte de esta evaluación, el sistema de control MPCC 1500 determina el actual camino en el cual está trabajando el subsistema 130' de la WFGD y, por consiguiente, el futuro valor de los distintos parámetros, asociados con el proceso de WFGD, al no ser introducidos cambios en las operaciones.

30 (0291) Tal como esto lo saben las personas familiarizadas con este ramo técnico, el sistema de control MPCC 1500 determina con preferencia - y de una manera similar a la manera que ha sido comentada anteriormente -la disponibilidad de una adicional capacidad para la absorción del SO₂; la adicional cantidad del SO₂, disponible para su eliminación; la disponibilidad de absorción adicional del SO₂, y si en base a los determinados valores futuros de los parámetros ha de ser aplicada ó no una capacidad adicional que esté disponible.

Implementación de una estrategia de funcionamiento para las operaciones del subsistema WFGD.

40 (0292) El sistema de control MPCC 1500 puede ser empleado como plataforma para implementar múltiples estrategias de funcionamiento, sin por ello impactar en el modelo de proceso ni en las relaciones de control de proceso, que sirven de base en el modelo de proceso. El sistema de control MPCC 1500 aplica una función de objetivo para determinar los objetivos del funcionamiento. Esta función de objetivo comprende una información sobre el proceso en términos de las relaciones dentro del modelo del proceso; no obstante, esta función de objetivo también incluye unos factores de sintonización ó unas ponderaciones. Son fijas las relaciones de procesos, representadas en la función de objetivo a través del modelo del proceso. Los factores de sintonización pueden ser ajustados previo a cada ejecución del controlador. Sujeto a las limitaciones del proceso ó a unas exigencias, el algoritmo del controlador puede aumentar al máximo ó reducir al mínimo el valor de la función de objetivo para determinar el valor óptimo de esta función de objetivo. Los óptimos objetivos de funcionamiento para los valores de procesos están disponibles para el controlador desde una solución óptima a la función de objetivo. Por ajustarse los factores de sintonización ó los valores ponderados, dentro de la función de objetivo cambia el valor de la función de objetivo y, por lo tanto, también cambia la solución óptima. Existe la posibilidad de implementar diferentes estrategias de funcionamiento por emplear el sistema de control MPCC 1500 y por aplicar el apropiado criterio ó la adecuada estrategia para fijar las constantes de sintonización de la función de objetivo. Algunas de las estrategias de funcionamiento más comunes pueden comprender:

- * Optimización de los activos (aumentar al máximo el beneficio/reducir al mínimo los costos).
- * Aumentar al máximo la eliminación de contaminantes.
- * Reducir al mínimo el movimiento de las variables manipuladas dentro de una tarea de control.

60 Optimización de las operaciones del subsistema de WFGD

(0293) En base al deseado criterio de operación, a la función de objetivo, sintonizada de forma apropiada, así como a los factores de sintonización 1902, el sistema de control MPCC 1500 ejecutará la lógica de predicción 850, en conformidad con el modelo de control dinámico 870, así como en base a la apropiada entrada ó a los parámetros computados, con el fin de establecer, en primer lugar, unos objetivos de operación a largo plazo para el subsistema 130' de la WFGD. El sistema de control MPCC 1500 trazará entonces una óptima ruta - como, por ejemplo, unas trayectorias y unos recorridos óptimos - desde el estado actual de las variables del proceso, tanto para las variables manipuladas como para las variables controladas, hacia los respectivos objetivos de operación, establecidos a largo

plazo para estas variables del proceso. A continuación, el sistema de control MPCC 1500 genera unas directrices de control para modificar las operaciones del subsistema 130' de la WFGD, de acuerdo con los establecidos objetivos de operación a largo plazo y con el trazado de la óptima ruta. Finalmente, el sistema MPCC 1500, ejecutando la lógica generadora de control 860, genera y comunica unas señales de control al subsistema 130' de la WFGD en base a las directrices de control.

(0294) De este modo, el sistema de control MPCC 1500 lleva a efecto - de acuerdo con el modelo de control dinámico 870 y conforme a los actuales datos medidos y computados de los parámetros - una primera optimización de las operaciones del subsistema 130' de la WFGD sobre la base de una seleccionada función de objetivo como, por ejemplo, una función de objetivo seleccionada en base a los actuales costos de electricidad ó al precio del bono del SO₂ de regulación, con el fin de determinar como objetivo un deseado estado de régimen. A continuación, el sistema de control MPCC 1500 realiza - en conformidad con el modelo de control dinámico 870 y con unos datos históricos del proceso - una segunda optimización de las operaciones del subsistema 130' de la WFGD, con el fin de determinar un recorrido dinámico a lo largo del cual se han de desplazar las variables del proceso, desde el estado actual hasta el deseado objetivo de un estado de régimen. De una manera conveniente, la lógica de predicción 850, que está siendo ejecutada por el sistema MPCC 1500, determina un recorrido que facilitará el control de las operaciones del subsistema 130' de WFGD por parte del sistema MPCC 1500, con el fin de desplazar las variables del proceso lo más rápido posible hacia el deseado estado de objetivo de cada variable del proceso, reduciendo al mismo tiempo al mínimo el error ó una desviación entre el deseado estado de objetivo de cada variable del proceso y el estado actual de cada variable del proceso, y esto en cualquier punto a lo largo del recorrido dinámico.

(0295) Por consiguiente, el sistema de control MPCC 1500 resuelve el problema del control, no solamente para el tiempo del momento actual (T0), sino también para todos los demás momentos del tiempo de duración del período, en el cual las variables del proceso se están desplazando desde el estado actual (T0) hasta el estado de régimen del objetivo, en Tss. Ello permite que el movimiento de las variables del proceso pueda ser optimizado durante toda la travesía del recorrido, desde el estado actual hasta el estado de régimen del objetivo. Esto proporciona, a su vez, una estabilidad adicional, en comparación con los movimientos de los parámetros del proceso para los cuales son empleados los controladores convencionales de la desulfuración WFGD como, por ejemplo, el controlador PID, anteriormente descrito como base.

(0296) Un optimizado control del subsistema de WFGD es posible teniendo en cuenta que las relaciones del proceso se encuentran incorporadas en el modelo de control dinámico 870, y porque en estas relaciones no ejercen un impacto una modificación en la función de objetivo, ni los datos de entrada no directamente relacionados con el proceso como, por ejemplo, unas entradas de tipo económico ó una sintonización de las variables. Por consiguiente, existe la posibilidad de manipular ó de cambiar la forma en la que el sistema MPCC 1500 controla el subsistema 130' de WFGD y, por lo tanto, el proceso de la desulfuración de gas de combustión húmedo bajo distintas condiciones, incluidas las diferentes condiciones no directamente relacionadas con el proceso, sin tener en consideración el respectivo nivel del proceso, una vez validado el modelo de control dinámico.

(0297) Haciendo otra vez referencia a las Figuras 15A y 19, se describen a continuación algunos ejemplos del control del subsistema 130' de la WFGD para la función de objetivo de aumentar al máximo los abonos por SO₂ así como para la función de objetivo de aumentar al máximo la rentabilidad ó de reducir al mínimo las pérdidas de las operaciones del subsistema de la WFGD. Las personas familiarizadas con este ramo técnico saben que, por crear unos factores de sintonización para otros escenarios de operación, existe la posibilidad de optimizar, de aumentar al máximo ó de reducir al mínimo otros parámetros controlables dentro del subsistema de la WFGD.

Aumentar al máximo los abonos por SO₂

(0298) Para aumentar al máximo los abonos por el SO₂, el sistema de control MPCC 1500 ejecuta la lógica de predicción, en conformidad con el model de control dinámico 870, teniendo configurada la función de objetivo con las constantes para aumentar al máximo los abonos por el SO₂. Ha de tenerse en cuenta que, desde el punto de vista del proceso de la desulfuración WFGD, el hecho de aumentar al máximo los abonos por SO₂ requiere que se encuentre al máximo la recuperación del SO₂.

(0299) Las constantes de sintonización, que son introducidas en la función de objetivo, permitirán a la función de objetivo equilibrar los efectos de los cambios en las manipuladas variables con respecto a las emisiones de SO₂ entre si.

(0300) El resultado neto de la optimización consiste en que el sistema de control MPCC 1500 incrementará:

* La eliminación del SO₂ por subir el punto de ajuste 186' del valor pH del lodo; así como

* El aumento del aire de oxidación 154' del soplador como compensación del adicional SO₂ que está siendo recuperado.

Y estos puntos sometidos a las exigencias de:

* Un bajo límite de los requisitos de pureza de yeso 1924. Se ha de tener en cuenta que esto será normalmente un valor que proporciona un ligero margen de seguridad con respecto al más bajo límite permitido para la pureza del yeso dentro de los requisitos de pureza de yeso 1924.

* Un bajo límite del exigido aire de oxidación 154'; así como

* La máxima capacidad del soplador 150 para el aire de oxidación.

(0301) Además, al estar al sistema de control MPCC 1500 permitido ajustar la alineación de las bombas 133, el MPCC 1500 aumentará al máximo la circulación del lodo así como la efectiva altura del lodo, las cuales están
5 sometidas a las exigencias en cuanto a la alineación de las bombas 133 y a la carga de las mismas.

(0302) En este escenario de operaciones, el sistema de control MPCC 1500 se encuentra completamente enfocado para incrementar la eliminación del SO₂ con el fin de generar unos abonos por el SO₂. El sistema de control MPCC 1500 respetará las exigencias como, por ejemplo, los requisitos de la pureza del yeso 1924 y los del
10 aire de oxidación. Sin embargo, este escenario no proporciona un equilibrio entre el costo/valor de energía eléctrica y el valor de los abonos por SO₂. Este escenario podría ser apropiado si el valor de los abonos por SO₂ sobrepasa por mucho el costo/valor de energía eléctrica.

Aumentar al máximo la rentabilidad ó reducir al mínimo las pérdidas

(0303) La función de objetivo dentro del sistema de control MPCC 1500 puede estar configurada de tal manera que el mismo aumentará al máximo la rentabilidad ó reducirá al mínimo las pérdidas. Este escenario de funcionamiento podría ser llamado el escenario de "optimización de activos". Este escenario también requiere una exacta y actualizada información sobre el costo/valor de la energía eléctrica, de los abonos por SO₂, de la piedra caliza, del
20 yeso y de cualquier aditivo como, por ejemplo, del ácido orgánico.

(0304) Los factores de costo/valor, relacionados con cada una de las variables dentro del modelo del controlador, son introducidos en la función de objetivo. A continuación, la función de objetivo dentro del sistema MPCC 1500 está encaminada para reducir al mínimo los costos y aumentar al máximo la rentabilidad. Al quedar la rentabilidad
25 definida como un costo negativo, la relación costo/rentabilidad se convierte en una función continua para la función de objetivo de aumentar al máximo.

(0305) En este escenario, la función de objetivo identificará la operación al mínimo costo en el punto en el cual el valor marginal de la generación de un adicional abono por SO₂ es igual al costo marginal para la creación de este
30 abono. Ha de tenerse en cuenta que la función de objetivo representa una optimización restringida, de tal manera que la solución de reducir al mínimo los costos estará sometida a unas exigencias como:

- * Eliminación mínima del SO₂ (para cumplir con los permisos/objetivos de emisión).
- * Pureza mínima del yeso.
- * Máxima carga del soplador.
- * Límites de alineación y de carga para las bombas.
- * Límites para los aditivos.

(0306) Este escenario de funcionamiento estará sensibles a modificaciones, tanto en el valor/costo de electricidad como en el valor/costo de los abonos por el SO₂. Con el fin de aumentar al máximo los beneficios, estos factores de costo habrían de ser actualizados en tiempo real.

(0307) A título de ejemplo, en el supuesto de que los factores de costo estén actualizados previo a cada ejecución del controlador 1500A, al incrementar durante el día la demanda de electricidad, también se incrementa el valor momentáneo de la energía eléctrica, que está siendo generada. En el supuesto de que para la empresa generadora de energía sea posible vender una energía adicional a este precio momentáneo, y de que el valor del abono por SO₂ sea principalmente fijo en este momento, al existir entonces una manera para pasar la energía de las bombas 133 y del soplador 150 hacia a red de energía eléctrica manteniendo, no obstante, todavía la
45 eliminación mínima del SO₂, hay un significativo incentivo económico para pasar esta energía adicional a la red de electricidad. El factor costo/valor, relacionado con la energía eléctrica en la función de objetivo del sistema MPC 1500 cambiará conforme cambie el valor momentáneo de la electricidad, y esta función de objetivo conseguirá una nueva solución que cumple con los condicionantes de la operación, pero que emplea menos energía eléctrica.

(0308) A la inversa, al incrementar el valor momentáneo del abono por SO₂, habrá un mercado para los adicionales abonos por SO₂, mientras que el costo/valor de la energía eléctrica es relativamente constante, y entonces la función de objetivo dentro del sistema MPCC 1500 responderá a este cambio por incrementar la eliminación del SO₂, la cual está sujeta a los condicionantes de la operación.

(0309) En ambos ejemplos de los escenarios, el sistema de control MPCC 1500 respetará todos los condicionantes de la operación y, en este caso, la función de objetivo dentro del sistema MPCC 1500 buscará el óptimo punto de funcionamiento, en el cual el valor marginal de un abono por SO₂ es igual al costo marginal que es necesario para generar este abono.
60

Operación no factible

(0310) Existe la posibilidad de que el subsistema 130' se encontrará a veces enfrentado a una serie de exigencias 1555 y condiciones de operación, tanto medidas 1525 como estimadas 1560, para las cuales no existe ninguna solución factible; la zona de operación factible 525, tal como indicada en las Figuras 5A y 5B, representa un
65

espacio nulo. Al presentarse este caso, ninguna solución podrá satisfacer las exigencias 1555 impuestas al sistema. Esta situación puede ser definida como "operación no factible", habida cuenta de que no es posible cumplir con las exigencias impuestas al sistema.

5 (0311) Una operación no factible puede ser el resultado de una operación fuera de la capacidad de la desulfuración WFGD, es decir, un trastorno de proceso ó dentro de la propia desulfuración WFGD ó corriente arriba de la misma. Este tipo de operación también puede ser el resultado de unas exigencias 1555 extremadamente restrictivas, inapropiadas y/ó incorrectas, tanto en la desulfuración WFGD como en el sistema de control MPCC 1500.

10 (0312) Durante el período de una operación no factible, la función de objetivo dentro del sistema MPCC 1500 está enfocada a la finalidad de reducir al mínimo un error ponderado. En la función de objetivo aparece cada exigencia de proceso 1555. Un factor de ponderación es aplicado a cada error ó violación del límite de la exigencia por parte del valor de proceso, controlado ó puesto como objetivo. En la preparación del controlador 1500A, el ingeniero de la implementación selecciona unos valores apropiados para los factores de ponderación de los errores de tal manera que, durante los períodos de una operación no factible, la función de objetivo "se entregará" a limitaciones de un menor peso, con el fin de respetar las limitaciones más importantes.

20 (0313) Por ejemplo, en el subsistema 130´ de la WFGD hay límites de permiso de regulación, relacionados con la salida de SO₂ 1505, así como una especificación de venta, relacionada con la pureza de yeso 1506. Una violación del permiso para la emisión de SO₂ trae consigo multas y otras significativas ramificaciones. La violación de la especificación de venta, relativa a la pureza del yeso, requiere una clasificación del producto de yeso hacia abajo ó una nueva mezcla del mismo. Bajar la clase de un producto no representa ninguna opción deseable, pero esto tiene menos impacto sobre la viabilidad de operación en el lugar de fabricación que una violación del permiso para emisiones. Por consiguiente, los factores de sintonización serán aplicados de tal manera que el condicionante del límite de emisión de SO₂ sea más importante y tendrá un mayor peso que el condicionante con respecto a la pureza del yeso. De este modo, la función de objetivo dentro del sistema de control MPCC 1500 mantendrá - con estos factores de sintonización y durante los períodos de una operación no factible - de forma preferente las emisiones del SO₂ al límite ó por debajo del límite de emisión del SO₂, y la misma violará el condicionante de la pureza del yeso. El sistema de control MPCC 1500 reducirá al mínimo la violación del condicionante de la pureza del yeso y pasará esta variable a la imposibilidad, con el fin de mantener el más importante límite de la emisión.

Notificar las decisiones sobre el control a los operadores

35 (0314) De forma preferente, el sistema de control MPCC 1500 también está configurado para proporcionar a los operadores información sobre ciertas determinaciones del sistema MPCC 1500. También aquí es así que la lógica de predicción 850, el modelo de control dinámico 870 ú otras programaciones pueden ser empleados para configurar el sistema MPCC 1500 de tal manera que el mismo pueda proporcionar esta información. A título de ejemplo, este sistema MPCC 1500 puede funcionar para dirigir advertencias sonoras ó la presentación de textos ó la visualización de imágenes, de tal modo que los operadores ú otros usuarios estén al tanto de ciertas determinaciones del sistema MPCC 1500 como, por ejemplo, la determinación de que, en un momento dado, el mantenimiento de la calidad del yeso es de menor prioridad, a la vista de que son tan valiosos los abonos por SO₂.

Resumen de la desulfuración de gas de combustión húmedo WFGD

45 (0315) Como resumen, y tal como detalladamente comentado más arriba, se ha descrito el control de un proceso de la WFGD, el cual está basado en una optimización. Este control facilita la manipulación de los puntos de ajuste para el proceso de WFGD en tiempo real y en base a la optimización de un modelo de múltiples datos de entrada y múltiples datos de salida, el cual es actualizado empleando una retroalimentación del proceso. La optimización del proceso puede tener en consideración múltiples objetivos y limitaciones para el mismo. Sin un control de este tipo, el propio operador tiene que determinar los puntos de ajuste para la desulfuración de WFGD. Debido a la complejidad del proceso, el operador elige muchas veces unos puntos de ajuste inferiores a óptimos para equilibrar los múltiples objetivos y limitaciones. Unos puntos de ajuste ó una operación inferiores a óptimos tienen por resultado una pérdida en la eficiencia de eliminación, unos mayores costos de operación así como unas potenciales violaciones de los condicionantes para la calidad.

60 (0316) También ha sido descrito un virtual análisis on-line para la pureza del yeso. El análisis computa una estimación on-line de la pureza del subproducto yeso que está siendo producido por el proceso de WFGD, aplicando unas medidas variables del proceso, los análisis del laboratorio así como un modelo de estimación dinámica para la pureza del yeso. Teniendo en cuenta que los sensores de tipo on-line para la pureza del yeso, producido por el proceso de la WFGD, no están disponibles en el sentido convencional, para determinar la pureza del yeso son empleados normalmente unos análisis procedentes del laboratorio. Sin embargo, dado que la pureza del yeso es comprobada tan sólo ocasionalmente, y que esta pureza tiene que ser mantenida por encima de un determinado nivel exigido que, por regla general, está fijado en la especificación del yeso, los operadores del proceso emplean muchas veces unos puntos de ajuste para el proceso de la WFGD, los cuales tienen por resultado que la pureza del yeso está bien por encima de las exigencias fijadas. Esto, en cambio, tiene por resultado que es sacrificada la eficiencia en la eliminación del SO₂ y/ó que se produce un innecesario consumo de energía por parte del subsistema de WFGD. Por ser la pureza del yeso estimada on-line, los puntos de ajuste para

el proceso de la WFGD pueden ser controlados con el fin de asegurar que la pureza del yeso esté más cerca de las exigencias de pureza facilitando, no obstante, una incrementada eficiencia en la eliminación del SO₂.

(0317) Tal como también ha sido descrito anteriormente de forma detallada, el virtual análisis on-line de la pureza del yeso es llevado a efecto dentro de un bucle de control, por lo cual se permite que las estimaciones puedan ser incluidas en el control de retroalimentación, y no importa si para ello es empleado el modelo de control de predicción (MPC) ó el control PID. Por proporcionarse una retroalimentación al bucle de control, la eficiencia en la eliminación del SO₂ puede ser incrementada durante la operación, de tal modo que pueda ser producido un yeso con una pureza que está más cerca de la aplicable exigencia en cuanto a la pureza.

(0318) Anteriormente también se ha descrito un virtual análisis on-line de los costos de la operación. Tal como revelado, este análisis emplea datos del proceso de la WFGD, al igual que datos del actual precio de mercado, para computar on-line los costos de operación de un proceso de WFGD. Normalmente, los operadores no tienen en cuenta los efectivos costos de operación de una proceso de WFGD. Sin embargo, por computarse estos costos ahora on-line, los operadores están ahora en condiciones de seguir los efectos de cambios en el proceso como, por ejemplo, modificaciones en los puntos de ajuste y en los costos de la operación.

(0319) Anteriormente también ha sido descrita la ejecución de un virtual análisis on-line de los costos de operación dentro de un bucle de control, lo cual permite incluir las estimaciones en el control de retroalimentación, sin tener en cuenta si es empleado el control MPC ó el control PID. Por consiguiente, este control de retroalimentación puede ser empleado para reducir al mínimo los costos de la operación.

(0320) Anteriormente ha sido descrita, asimismo, una técnica para aplicar el control MPC con el fin de optimizar la operación del proceso de WFGD a efectos de una máxima eficiencia en la eliminación del SO₂, de unos costos mínimos para la operación y/o de la deseada pureza del yeso por encima de una exigencia. Este tipo de control puede aprovecharse del análisis virtual de la pureza del yeso y/o de los costos de la operación dentro del bucle de retroalimentación, tal como anteriormente comentado, y este control tiene la capacidad de efectuar una optimización automática, por ejemplo, de la eficiencia en la eliminación del SO₂ y/o de los costos de operación de un proceso de WFGD.

(0321) Están descritos parámetros, tanto unos parámetros necesarios como unos parámetros opcionales. Con los parámetros revelados, las personas familiarizadas con este ramo técnico pueden aplicar unas conocidas técnicas, a la manera de rutinas, para desarrollar un apropiado modelo del correspondiente proceso de WFGD; modelo éste que, a su vez, puede ser empleado, por ejemplo, por un sistema de control MPCC 1500 que controla el proceso de WFGD para optimizar la operación de este proceso de WFGD. Los modelos pueden ser desarrollados para la pureza del yeso, para la eficiencia en la eliminación del SO₂, y/o para los costos de la operación así como para otros distintos factores. Por regla general, el control MPC ú otras lógicas pueden ser ejecutados en base a los modelos del proceso de WFGD - los cuales han sido desarrollados en conformidad con los principios, con los sistemas y con los procesos aquí descritos - con el fin de optimizar el proceso de WFGD. Por consiguiente, quedan eliminadas las limitaciones de un control de tipo convencional de los procesos de WFGD, el cual emplea, por ejemplo, los controladores PID, que están limitados a unas estructuras de entrada individual/salida individual y los mismos dependen estrictamente de una retroalimentación del proceso, en lugar de unos modelos del proceso. Por el hecho de incluir modelos en el bucle de retroalimentación, el control del proceso de WFGD hasta puede ser perfeccionado aún más para, por ejemplo, mantener las operaciones más estrechamente a las exigencias, con la posibilidad de una más reducida variabilidad que antes no había.

(0322) La aplicación de unos modelos - basados en redes neuronales - para un proceso de WFGD también está descrita, tanto en el contexto del control del proceso como en cuanto a un virtual análisis on-line de un proceso de WFGD. Tal como anteriormente descrito con más detalles, la relación entre la entrada de datos y la salida de datos de un proceso de WFGD pone de manifiesto una relación no lineal, por lo cual resulta conveniente emplear un modelo no lineal, habida cuenta de que este tipo de modelo representará mejor la no linealidad del proceso. Está descrito, además, el desarrollo de otros modelos derivados que emplean unos datos empíricos del proceso de WFGD.

(0323) Anteriormente también ha sido descrita con detalles la aplicación de un modelo de combinación para el control y el virtual análisis de un proceso de WFGD; modelo éste que tiene en consideración tanto los primeros principios como unos datos empíricos del proceso. Mientras que algunos elementos del proceso de WFGD están bien entendidos y pueden ser empleados para un modelo de primeros principios, otros elementos, sin embargo, no están tan bien entendidos y, por consiguiente, los mismos son empleados, de una manera más conveniente, para modelos de unos datos históricos y empíricos del proceso. Por emplearse una combinación entre primeros principios y datos empíricos del proceso, un modelo exacto puede ser desarrollado rápidamente y sin la necesidad de efectuar fases de ensayo para todos los elementos del proceso.

(0324) Anteriormente también ha sido descrita de forma detallada una técnica para la validación de las mediciones de los sensores, empleados en un proceso de WFGD. Según lo descrito, unas mediciones no validadas pueden ser sustituidas, con lo cual queda impedido un control incorrecto como resultado de unas inexactas mediciones de los sensores del proceso de WFGD. Por validar y sustituirse unas mediciones malas, el proceso de WFGD puede ahora tener lugar de forma continua, gracias a unos valores correctos del proceso.

(0325) También ha sido descrito con detalles el control de las emisiones rotativas. De esta manera, y a la vista de la presente revelación, el proceso de WFGD puede ser controlado de tal modo que una ó varias emisiones múltiples del promedio rotativo pueden ser mantenidas de forma apropiada para el proceso. El control MPC puede estar implementado empleando un solo controlador ó una multitud de controladores, puestos en cascada para controlar el proceso. Aplicando la técnica aquí descrita, el proceso de WFGD puede ser controlado, por ejemplo, de tal manera que una multitud de promedios rotativos de emisión puedan ser tenidos en consideración y ser mantenidos simultáneamente, mientras que al mismo tiempo sean reducidos al mínimo los costos de la operación.

Arquitectura del subsistema de la selectiva reducción catalítica SCR

(0326) Los aspectos característicos de la aplicación del control MPCC para la selectiva reducción catalítica SCR son descritos a continuación con el fin de poner de manifiesto la utilidad de la presente invención para otras implementaciones y para otros entornos. Los principales objetivos para el control de la SCR se refieren a:

- * Eliminación del óxido de nitrógeno NO_x, prevista para cumplir con la reglamentación ó como optimización de los activos;
- * Control del derrame de amoníaco; y
- * Operación al costo mínimo - Manejo del catalizador de la SCR y empleo del amoníaco.

(0327) Una vez más puede ser aplicada una metodología de medición y de control, la cual es similar a la metodología comentada en el contexto de la desulfuración WFGD:

Medición. Según lo comentado, el derrame de amoníaco representa un importante parámetro de control que con frecuencia no es medido. Al no estar prevista una medición directa del derrame de amoníaco, existe la posibilidad de calcular el derrame de amoníaco sobre la base de las mediciones de entrada y salida del NO_x, 2112 y 211, respectivamente, y del flujo de amoníaco 2012 hacia la SCR. La exactitud de este cálculo es dudosa, teniendo en cuenta que la misma requiere unas mediciones precisas y repetibles e implica la evaluación de pequeñas diferencias entre grandes cantidades. Sin una medición directa del derrame de amoníaco, se aplican las técnicas de un virtual analizador on-line, aparte de un cálculo directo del derrame de amoníaco, con el fin de conseguir una estimación del derrame de amoníaco, la cual sea de mayor credibilidad.

(0328) El primer paso del virtual analizador on-line (VOA) consiste en estimar el potencial del catalizador (coeficiente de reacción) así como la fluctuación en la correlación entre espacio y velocidad (SVCV) por todo el catalizador de SCR. Estos datos son computados empleando para ello el flujo de entrada del gas de combustión, la temperatura, el tiempo total de la acción del catalizador, así como las cantidades de entrada y de salida del NO_x. Tanto el cálculo del potencial del catalizador como la fluctuación SVCV están sometidos a un promedio de tiempo de cierto número de muestras. El potencial del catalizador cambia lentamente, por lo cual se pueden emplear muchos puntos de datos para computar el potencial, mientras que la fluctuación SVCV cambia muchas veces, por lo que para computar la misma son empleados relativamente pocos puntos de datos. Conociendo el potencial del catalizador (coeficiente de reacción), la fluctuación en la correlación entre espacio y velocidad (SVCV) y el NO_x de entrada, una estimación del derrame de amoníaco puede ser computada por aplicar las técnicas indicadas en la Figura 9.

(0329) Al estar disponible un sensor físico para el derrame de amoníaco, un bucle de retroalimentación desde este sensor hacia el modelo del proceso podrá ser empleado para obligar automáticamente al VOA a actuar. Este analizador VOA podría ser empleado para reducir de una manera significativa el típico ruido de la señal de salida del sensor físico.

(0330) Finalmente, ha de tenerse en cuenta que también para los costos de operación de la selectiva reducción catalítica SCR puede ser empleado el virtual analizador on-line. Según lo subrayado en el anterior párrafo, el modelo para los costos de la operación es desarrollado en base a los primeros principios. Los costos de la operación pueden ser computados on-line, empleando el virtual analizador on-line; también para este VOA es aplicada la técnica indicada en la Figura 9.

(0331) El sistema de control MPCC es aplicado para el problema de control de la SCR con el fin de conseguir los objetivos del control. La Figura 22 muestra, de forma similar a la Figura 8, la estructura de control MPCC para el sistema de control SCRMPCC 2500. Debido a su similitud con la Figura 8, no se estima necesaria una descripción más detallada de la Figura 22, toda vez que el sistema MPCC 2500 podrá ser comprendido por la anterior descripción de la Figura 8. La Figura 23A indica la aplicación del control MPCC 2500 para el subsistema de SCR 2170'. La mayor modificación en el sistema de control de regulación del subsistema SCR 2170' consiste en que la funcionalidad del controlador PID 2020 para la eliminación del NO_x y del controlador de carga de avance de alimentación 2220 - ambos indicados en la figura 20 - ha sido sustituida por el control MPCC 2500. Este control MPCC 2500 calcula directamente el punto de ajuste SP 2021A del flujo de amoníaco para su uso por parte del controlador de flujo de amoníaco (PID 2010).

(0332) Con el fin de controlar la eficiencia en la eliminación del NO_x así como el derrame de amoníaco, el control MPCC 2500 puede ajustar un flujo ó bien una multitud de flujos de amoníaco. En el supuesto de que haya suficientes valores de medición de los analizadores de entrada y de salida de NO_x, 2003 y 2004, respectivamente,

y de las medidas 2611 del derrame de amoníaco, procedentes del analizador de amoníaco 2610, para establecer una eficiencia en la eliminación del NOx así como una información sobre el perfil del amoníaco, el sistema de control MPCC 2500 controlará el conjunto ó el promedio de la eficiencia en la eliminación del NOx y del derramo de amoníaco, al igual que controlará también los valores del perfil. El control coordinado de una multitud de valores del perfil de la eficiencia en la eliminación del NOx y del derrame de amoníaco permite una significativa reducción en la variabilidad con respecto al promedio de los valores del proceso. Una inferior variabilidad se traduce en menos paradas "calientes" dentro del sistema. Este control de perfil requiere por lo menos alguna forma de medición y de control del perfil, es decir, que requiere más que una entrada del NOx, que una salida del NOx y que una medición del derrame de amoníaco, así como más que un flujo de amoníaco que pueda ser ajustado de forma dinámica. Ha de ser reconocido que, sin las necesarias entradas (mediciones) y las manipulaciones de control (flujos de amoníaco), el sistema MPCC 2500 no estará en condiciones de implementar un control de perfil, ni de efectuar la recogida de los beneficios resultantes.

(0333) Desde la perspectiva del sistema MPCC 2500, los adicionales parámetros, relacionados con el control del perfil, hacen que aumenta el tamaño del controlador, pero siguen sin modificación la metodología de control, el esquema y los objetivos en su conjunto. Por lo tanto, la descripción más abajo se refiere al control del subsistema de la SCR, pero sin tener en consideración el control del perfil.

(0334) La Figura 23B muestra una vista de conjunto del sistema MPCC 2500.

Optimizar las operaciones del subsistema de SCR

(0335) Sobre la base del deseado criterio de operaciones, de la función de objetivo, sintonizada de forma apropiada, y de los factores de sintonización 2902, el sistema MPCC 2500 ejecutará la lógica de predicción 2850, en conformidad con el modelo de control dinámico 2870, para en primer lugar establecer - en base a los apropiados parámetros introducidos ó computados - unos objetivos de operación a largo plazo para el subsistema 2170' de la SCR. En este caso, el sistema MPCC 2500 trazará una ruta óptima - como, por ejemplo, unas trayectorias y recorridos óptimos - desde el estado actual de las variables del proceso, tanto de las variables manipuladas como de las variables controladas, hasta los respectivos objetivos de operación, establecidos a largo plazo para estas variables del proceso. El sistema MPCC 2500 genera, a continuación, unas directrices de control para modificar las operaciones del subsistema de SCR 2170' de acuerdo con los establecidos objetivos de operación a largo plazo y conforme al óptimo recorrido trazado. Finalmente, el sistema MPCC 2500 genera, ejecutando la lógica generadora de control 2860, unas señales de control y las comunica al subsistema de SCR 2170' en base a las directrices de control.

(0336) De este modo, el sistema MPCC 2500 lleva a efecto - en conformidad con el modelo de control dinámico y con los actuales datos, medidos y computados de los parámetros - una primera optimización de las operaciones del subsistema de SCR 2170', y esto en base a la seleccionada función de objetivo como, por ejemplo, una función de objetivo elegida en base a los actuales costos de electricidad y al valor de los abonos por regulación de emisiones, con el fin de determinar como objetivo un deseado estado de régimen. A continuación, el sistema MPCC 2500 realiza - en conformidad con el modelo de control dinámico y con unos datos históricos del proceso - una segunda optimización de las operaciones del subsistema de SCR 2170' con el fin de determinar un recorrido dinámico a lo largo del cual se han de desplazar las variables del proceso, desde el estado actual hasta el deseado estado de régimen, que representa el objetivo. De una manera conveniente, la lógica de predicción - que está siendo ejecutada por el sistema MPCC 2500 - determina un recorrido que facilitará el control de las operaciones del subsistema de SCR 2170' por parte del MPCC 2500 con el fin de desplazar las variables del proceso lo más rápidamente posible hacia el deseado estado de objetivo para cada variable del proceso, reduciendo simultáneamente al mínimo el error ó la desviación entre el deseado estado de objetivo de cada una de las variables del proceso y el actual estado efectivo de cada variable del proceso, y esto en cada punto a lo largo del recorrido dinámico.

(0337) Por consiguiente, el sistema MPCC 2500 resuelve el problema del control, pero no solamente para el momento actual del tiempo (T0), sino también durante todo el tiempo del período en el cual las variables del proceso se están desplazando desde el estado actual en T0 hacia el objetivo del estado de régimen en Tss. Esto permite que el movimiento de las variables del proceso sea optimizado por toda la travesía del recorrido completo, desde el estado actual hasta el estado de régimen, fijado como objetivo. Esto proporciona, a su vez, una estabilidad adicional, en comparación con los movimientos de los parámetros del proceso, al ser empleados unos convencionales controladores SCR como, por ejemplo, el controlador PID anteriormente descrito.

(0338) El optimizado control del subsistema de la SCR se hace posible porque las relaciones dentro del proceso se encuentran incorporadas en el modelo de control dinámico 2870, así como debido al hecho de que un cambio en la función de objetivo ó en la entrada de datos -no directamente relacionados con el proceso como, por ejemplo, los datos de tipo económico ó los de la sintonización de las variables - no ejerce ningún impacto sobre estas relaciones. Por consiguiente, existe la posibilidad de manipular ó de modificar la manera en la que el sistema MPCC 2500 controla el subsistema de SCR 2170' y, por lo tanto, también controla el proceso de la SCR bajo diferentes condiciones, aquí incluidas distintas condiciones no directamente relacionadas con el proceso, sin tener en consideración el nivel del proceso y una vez validado el modelo de control dinámico.

(0339) Haciendo otra vez referencia a las Figuras 23A y 23B, se describen a continuación algunos ejemplos para el control del subsistema de SCR 2170' para la función de objetivo de aumentar al máximo los abonos por NOx así como para la función de objetivo de aumentar al máximo la rentabilidad ó de reducir al mínimo las pérdidas de las operaciones del subsistema de la SCR. Las personas familiarizadas con este ramo técnico saben que, por crearse unos factores de sintonización para otros escenarios de operación, existe la posibilidad de optimizar y de aumentar al máximo ó de reducir al mínimo otros parámetros controlables dentro del subsistema de la SCR.

Aumentar al máximo los abonos por NOx

(0340) Con el fin de aumentar al máximo los abonos por NOx, el sistema MPCC 2500 ejecuta la lógica de predicción 2850 en conformidad con el modelo de control dinámico 2870 que tiene la función de objetivo, conjuntamente con las constantes de sintonización, configuradas para aumentar al máximo los abonos por NOx. Ha de tenerse en cuenta que, desde el punto de vista del proceso de la SCR, el hecho de aumentar al máximo los abonos por NOx requiere que también la recuperación del NOx sea incrementada al máximo.

(0341) Las constantes de sintonización, que se introducen en la función de objetivo, permiten que la función de objetivo pueda equilibrar el efecto de los cambios en las manipuladas variables en relación con las emisiones del NOx.

(0342) Los resultados inequívocos de una optimización consisten en que el sistema MPCC 2500 incrementará:

- * La eliminación del NOx por subir los puntos de ajuste para el flujo de amoníaco, los cuales están sujetos a las exigencias de un
- * Máximo derrame de amoníaco.

(0343) Dentro de este escenario de operaciones, el sistema MPCC 2500 está completamente enfocado al incremento de la eliminación del NOx con el fin de generar los abonos por NOx. El sistema MPCC 2500 respetará las condicionantes del proceso con respecto al derrame de amoníaco. Sin embargo, este escenario no proporciona ningún equilibrio entre el costo/valor del amoníaco ó del derrame de amoníaco y el valor de los abonos por NOx. Este escenario podría ser apropiado al exceder el valor de los abonos por NOx por mucho del costo/valor del amoníaco y del derrame de amoníaco.

Aumentar al máximo la rentabilidad ó reducir al mínimo las pérdidas

(0344) La función de objetivo dentro del sistema MPCC 2500 puede estar configurada de tal manera que el sistema aumentará al máximo la rentabilidad ó reducirá al mínimo las pérdidas. Este escenario de operaciones podría ser llamado "escenario de optimización de activos". También este escenario requiere una información exacta y actualizada del costo/valor para la energía eléctrica, los abonos por NOx, el amoníaco y del impacto que el derrame de amoníaco ejerce sobre el equipo situado corriente abajo.

(0345) Los factores de costo/valor, relacionados con cada una de las variables dentro del modelo de control, son introducidos en la función de objetivo. A continuación, la función de objetivo dentro del sistema MPCC 2500 es dirigida para reducir al mínimo el costo y aumentar al máximo el beneficio. Al estar el beneficio definido como un costo negativo, costo/beneficio se convierte entonces en una función continua para el objetivo de una reducción al mínimo.

(0346) Dentro de este escenario, la función de objetivo identificará la operación al mínimo costo en un punto en el cual el valor marginal de la generación de unos adicionales abonos por NOx es igual al costo marginal para conseguir estos abonos. Ha de tenerse en cuenta que la función de objetivo consiste en una optimización condicionada, de tal manera que la solución del costo mínimo estará sujeta a los condicionantes de:

- * Mínima eliminación del NOx (para el cumplimiento con el permiso/objetivos de emisión);
- * Mínimo derramo de amoníaco;
- * Mínimo uso de amoníaco.

(0347) Este escenario de operaciones estará sensible a modificaciones, tanto en el valor/costo de electricidad como en el valor/costo de los abonos por NOx. Para un máximo beneficio, estos factores de costo habrían de ser actualizados en tiempo real.

(0348) Por ejemplo, en el supuesto de que los factores de costo sean actualizados previo a cada ejecución del controlador, y que la demanda de electricidad se incremente durante el día, también se incrementará el valor momentáneo de la energía eléctrica que está siendo generada. Suponiendo que para la empresa generadora de energía sea posible vender la energía adicional a este precio momentáneo y de que el valor de los abonos por NOx esté principalmente fijo en el momento actual, entonces hay un importante incentivo para reducir al mínimo el derrame de amoníaco, habida cuenta de que esto mantendrá más limpio del precalentador del aire, aparte de permitir una más eficiente generación de energía. Existe un significativo incentivo económico para pasar la energía adicional a la red eléctrica. El factor costo/valor, relacionado con la energía eléctrica dentro de la función de

objetivo en el sistema MPCC 2500, cambiará al cambiar el valor momentáneo de la electricidad, y la función de objetivo conseguirá una nueva solución que cumple con los condicionantes de la operación, pero que emplea menos energía eléctrica.

- 5 (0349) A la inversa, al incrementar el valor momentáneo del abono por NOx, habrá un mercado para los adicionales abonos por NOx, mientras que el costo/valor de la energía eléctrica es relativamente constante; la función de objetivo dentro del sistema MPCC 2500 responderá entonces a este cambio por incrementar la eliminación del NOx, la cual está sujeta a los condicionantes de la operación.
- 10 (0350) En ambos ejemplos del escenario, el sistema de control MPCC 2500 respetará todos los condicionantes de la operación y, en este caso, la función de objetivo dentro del sistema MPCC 2500 buscará el óptimo punto de funcionamiento, en el cual el valor marginal de un abono por NOx es igual al costo marginal, necesario para la generación de este abono.

TRADUCCIÓN DE LAS LEYENDAS DE LOS DIBUJOS

FIGURA 1

- 5 110 Sistema de generación de energía
- 112 Gas de combustión sucio
- 114 Gas de combustión con SO₂
- 116 Gas de combustión exento del SO₂
- 117 Chimenea
- 10 120 Control de contaminación del aire APC
- 122 Otros sistemas de control de contaminación del aire APC
- 130 Subsistema de WFGD
- 132 Torre de absorción
- 133 Bombas de lodo
- 15 134 Cristalizador
- 136 Unidad de drenaje
- 140 Mezclador/Depósito
- 141 Lodo de piedra caliza
- 144 Lodo
- 20 146 Lodo
- 148 Lodo
- 150 Soplador
- 152 Aire de ambiente
- 154 Aire de oxidación
- 25 160 Yeso
- 161 Laboratorio y Ensayo - Muestra de yeso
- 162 Agua
- 164 Fuente de agua fresca
- 167 Recuperación de agua
- 30 169 Corriente de desperdicio
- 170 Triturador
- 172 Piedra caliza
- 174 Piedra caliza triturada
- 176 Fuente de piedra caliza
- 35 180 Controlador PID
- 181 Señal de control del PID
- 183 Medido valor pH del lodo
- 186 Deseado punto de ajuste del valor pH
- 188 Sensor del SO₂
- 40 189 Medida entrada del SO₂
- 190 Alimentación de avance FF
- 191 Señal de control de la alimentación de avance FF
- 196 Punto de ajuste del flujo del lodo de piedra caliza
- 199 Válvula
- 45 200 Eliminador de niebla/Agua de lavado

FIGURA 2

- 132 Hacia la torre de absorción
- 50 134 Hacia el cristalizador
- 136 Unidad de drenaje
- 136A Drenaje primario
- 136B Drenaje secundario
- 140 Mezclador y depósito
- 55 140A Depósito de mezcla
- 140B Bomba
- 141 Lodo
- 146A Rebosadero de lodo
- 160 Subproducto yeso
- 60 162 Agua fresca
- 164 Fuente de agua fresca
- 164A Depósito de agua
- 164B Bomba
- 164C Bomba
- 65 167 Recuperación de agua
- 168 Desperdicio de agua
- 169 Otros desperdicios
- 170 Desde triturador

- 174 Piedra caliza triturada
- 200 Eliminador de niebla/Lavado
- 202 Corriente derivada del lodo
- 210 Embalse de cenizas

5

FIGURA 3

- 114 Gas de combustión con el SO_s
- 116 Gas de combustión exento del SO_s
- 132 Torre de absorción
- 133 A Bomba
- 133 B Bomba
- 133 C Bomba
- 148 Lodo
- 200 Eliminador de niebla/ Lavado

10

15

FIGURA 4

-o- Pureza del yeso -Δ- Eliminación del SO₂
(Curva)

20

Pureza del yeso

Eficiencia en la eliminación del SO₂

25

Valor pH del lodo

FIGURA 5A

- 505 Permiso de emisión de SO₂
- 510 O₂ disuelto
- 515 Máximo límite de válvula
- 520 Límite de pureza del yeso
- 525 Zona de operación factible
- 530 Zona de operación cómoda

30

35

FIGURA 5B

- 505 Permiso de emisión de SO₂
- 510 O₂ disuelto
- 515 Máximo límite de válvula
- 520 Límite de pureza del yeso
- 525 Zona de operación factible
- 530 Zona de operación cómoda
- 555 Punto óptimo

40

45

FIGURA 6

- 610 Controlador
- 615 Variables MVs (valor pH, etc.)
- 620 Desulfuración de gas de combustión húmedo WFGD
- 625 Observadas variables de proceso PVs (DVs, MVs, CVs)
- 630 Estimador
- 635 Estimadas variables de proceso
- 640 Referencia

50

55

MVs = Manipuladas variables
DVs = Variables de perturbación
CVs = Controladas variables

60

FIGURA 7

Sistema de control MPCC 700

- 705 Unidad de procesamiento
- 710 Unidad de disco de memoria
- 715 Vías de acceso entrada/salida

65

720 Teclado
725 Ratón
730 Visualización

5 **FIGURA 8**

805 Entrada / Salida
810 Procesador
820 Memoria
10 830 Interfase
840 Lógica de estimación
850 Lógica de predicción
860 Lógica de generación de control
870 Modelo de control dinámico
15 880 Modelo de estimación dinámica
885 Datos
890 Base de datos históricos de emisiones de SO₂

20 **FIGURA 9**

960 Observadas MVs y DVs
880 Modelo de estimación dinámica
25 950 Observadas CVs
910 Validación
920 Estimación
940 Estimadas Cvs

30 **FIGURA 10**

805A Entrada / Salida **710A .**
830A Interfase
820A Memoria
35 810A Procesador
1010 Temporizador
840A Lógica de estimación
850A Lógica de predicción
860A Lógica generadora de control
40 870A Modelo de control dinámico
880A Modelo de estimación dinámica
885A Datos
890A Base de datos históricos de emisiones de SO₂

45 805B Entrada / Salida **710B.**
830B Interfase
820B Memoria
810B Procesador
840B Lógica de estimación
50 850B Lógica de predicción
860B Lógica generadora de control
870B Modelo de control dinámico
880B Modelo de estimación dinámica
885B Datos
55 890B Base de datos históricos de emisiones de SO₂

FIGURA 11A

Manejo del promedio rotativo
60 Optimización de las emisiones de SO₂ según el promedio rotativo dentro de la desulfuración de gas de combustión húmedo (WFGD)

Proyectado factor de funcionamiento de la unidad 90 %
Proyectado factor de funcionamiento de la WFGD 95 %

65 Añadir corte planificado Modificar/Revisar cortes planificados

Salida

5 **FIGURA 11B**

Añadir corte
 Descripción Bajada por corte
 Fecha iniciación 10/10/2000
 10 Fecha terminación 10/10/2000
 Capacidad durante el corte 0 %

Añadir corte/parada Cancelar

15 **FIGURA 12**

620 Proceso de la WFGD
 705A Controlador a un nivel de la unidad de procesamiento
 705B Controlador a dos niveles de la unidad de procesamiento
 20 1000 Objetivo del promedio rotativo a corto plazo
 1210 Base de datos históricos del proceso
 1215 Histórico de emisiones para un período del promedio rotativo hacia el pasado
 Planificación de operaciones/cortes para un período del promedio rotativo hacia el futuro
 25 1220 Operador/Ingeniero
 1225 Planificaciones de operaciones/cortes
 1230 Emisiones actuales
 1235 Valores y puntos de ajuste del proceso

30 **FIGURA 13**

Control MPCC 1300

Referencia
 35 1305 Controlador (PPP)
 1310 Estimador (RAE)
 1315 Interfase Datos Pegaso (PDI)
 1320 Distribuido sistema de control (DCS)
 620 Desulfuración de gas de combustión húmedo WFGD

40 **FIGURA 14A**

Controlador de avanzada desulfuración del gas de combustión húmedo

45 Unidad 1
 Modo de controlador Conectado Supervisión

Buena
 Estado Perfeccionador Bueno

50 Manipuladas variables MVs
 Validar todas Modo Punto de ajuste Límite mín. Límite máx. Variable de proceso
 Valor pH Con. 5.41 4.8 6.0 5.35
 Aire soplador Con. 7264 4000 8000 7290

55 Controladas variables CVs
 PV Laboratorio Estimado Mínimo.
 Eliminación de SO₂ % 94.5 94.5
 Pureza de yeso 95.3 96.2 95.0
 AT 1030 1/3

60 Estimada eliminación de SO₂ en % de las últimas 24 horas
 (Curva)
 Estimada pureza de yeso en % de las últimas 24 horas
 (Curva)

Introducir valores del laboratorio

65 Unidad 2
 Modo de controlador Conectado
 Supervisión Buena

ES 2 391 731 T3

	Estado Perfeccionador	Bueno			
	Manipuladas variables MVs				
	Validar todas	Modo	Punto de ajuste	Límite mín.	Límite máx. Variable de proceso
	Valor pH	Con.	5.45	4.8	6.0 5.37
5	Aire soplador	Con.	7274	4000	8000 7280
	Controladas variables CVs				
		PV	Laboratorio	Estimado	Mínimo
	Eliminación de SO ₂ %	95.5		95.5	
10	Pureza de yeso		95.5	95.4	95.0
		AT	1030	1/3	
	Estimada eliminación de SO ₂ en % de las últimas 24 horas	(Curva)			
15	Estimada pureza de yeso en % de las últimas 24 horas	(Curva)			

FIGURA 14B

	Formulario de entrada de muestras de laboratorio			
20	Unidad 1: Entrada de muestra de laboratorio			
	Unidad 1 Pureza de yeso			
		Valor (%)		
25	Pureza	95.6		
	Fecha de la muestra	Mes:1	Día: 3	Hora: 10.30
	Actualizar			
	Química Absorbedor 1			
30		Valor (ppm)		
	Cloruro	1700		
	Magnesio	3500		
	Fluoruro	67		
35	Fecha de la muestra	Mes: 1	Día: 2	Hora: 09.50
	Actualizar			
	Controlador avanzado 1450			
	Unidad 2: Entrada de muestra de laboratorio			
40	Unidad 2 Pureza de yeso			
		Valor (%)		
	Pureza	95.3		
45	Fecha de la muestra	Mes: 1	Día: 3	Hora: 06.00
	Química Absorbedor 2			
		Valor (ppm)		
	Cloruro	1800		
	Magnesio	3200		
50	Fluoruro	82		
	Fecha de la muestra	Mes: 1	Día: 2	Hora: 09.50
	Actualizar			
	Unidades 1 y 2 Combinada entrada de muestras de laboratorio			
55		Valor (%)		Valor (%)
	Pureza de yeso	92.3	Pureza de piedra caliza	96.7
			Piedra caliza triturada	94.3
60	Fecha de la muestra	Mes: 1	Día: 2	Hora: 09.50
	Actualizar			
		Fecha de la muestra Mes: 1 Día: 2 Hora: 09.50		
		Actualizar		

65 FIGURA 15A

- 110 Sistema de generación de energía PGS
- 112 Gas de combustión sucio

- 114 Gas de combustión con SO₂
- 116' Gas de combustión exento de SO₂
- 117 Chimenea
- 1500 Sistema de control MPCC
- 5 1501 Control de carga del soplador
- 1502 Carga del soplador
- 1503 Punto de ajuste de la carga del soplador
- 1504 Sensor de SO₂
- 1505 Medida salida de SO₂
- 10 1506 Pureza de yeso hacia MPCC1500
- 1508 Sensor de carga
- 1509 Medida carga
- 1511 Control del estado de bombas
- 1512 Estado de bombas
- 15 1513 Puntos de ajuste del estado de bombas
- 1515 Carga de bombas hacia MPCC1500
- 1516 Puntos de ajuste de la carga de bombas
- 1518 Sensor de condiciones de ambiente
- 1520 Medidas condiciones de ambiente
- 20 120 Control de contaminación del aire APC
- 122 Otros subsistemas de control de contaminación del aire APC
- 130' Subsistema de WFGD
- 132 Torre de absorción
- 133 Bombas de lodo
- 25 134 Cristalizador
- 136 Unidad de drenaje
- 140 Mezclador/Depósito
- 141' Lodo de piedra caliza
- 144 Lodo
- 30 148' Lodo
- 150 Soplador
- 152 Aire de ambiente
- 154' Aire de oxidación
- 160' Yeso
- 35 161' Muestra de yeso de laboratorio y ensayo
- 162 Agua
- 164 Fuente de agua fresca
- 167 Recuperación de agua
- 169 Corriente de desperdicio
- 40 170 Triturador
- 172 Piedra caliza
- 174 Piedra caliza triturada
- 176 Fuente de piedra caliza
- 180 Controlador PID
- 45 181' Señal de control del PID
- 182 Sensor de valor pH
- 183 Medido valor pH del lodo
- 186' Deseado punto de ajuste del valor pH
- 188 Sensor de SO₂
- 50 189 Medida entrada de SO₂
- 190 Avance de alimentación FF
- 191 Señal de control de FF
- 192 Verano
- 196' Punto de ajuste del flujo de lodo de piedra caliza
- 55 199 Válvula
- 200 Agua de lavado / Eliminador de niebla

FIGURA 15B Controlador 1500A

- 60 1625 Medidos parámetros de proceso
- 183 Medido valor pH de lodo
- 189 Medida entrada de SO₂
- 1502 Carga de soplador
- 1505 Medida salida de SO₂
- 65 1506 Pureza de yeso medida por laboratorio
- 1509 Medida carga del sistema de generación de energía PGS
- 1512 Estado de las bombas de lodo
- 1515 Carga de las bombas de lodo

- 1520 Medidas condiciones de ambiente
- 1550 Entradas no directamente relacionadas con el proceso
- 1555 Exigencias ó condicionantes

- 5 1500A Controlador
- 1500B Estimador
- 1560 Estimados parámetros computados

- 10 1530 Controlados puntos de ajuste de parámetros
- 186' Punto de ajuste de valor pH del lodo
- 1516 Puntos de ajuste de la carga de bombas de lodo
- 1513 Puntos de ajuste del estado de bombas de lodo
- 1503 Punto de ajuste de la carga de soplador

15 **FIGURA 16**

- 132 Torre de absorción
- 134 Cristalizador
- 20 136 Unidad de drenaje
- 136A Drenaje primario
- 136B Drenaje secundario
- 140 Mezclador y depósito
- 140A Mezclador/Depósito
- 25 140B Bomba
- 141' Lodo
- 146 Lodo procedente del cristalizador
- 146A Rebosadero del lodo
- 160' Subproducto yeso
- 30 162 Agua fresca
- 164 Fuente de agua fresca
- 164A Depósito de agua
- 164B Bomba
- 164C Bomba
- 35 167 Recuperación de agua
- 168 Agua de desperdicio
- 169 Otros desperdicios
- 170 Triturador
- 174 Piedra caliza triturada procedente del triturador
- 40 180 Controlador PID
- 196' Punto de ajuste del flujo
- 199 Válvula
- 200 Eliminador de niebla ME / Agua de lavado
- 202 Lodo
- 45 210 Embalse de cenizas
- 240' Lodo hacia el cristalizador

FIGURA 17

- 50 114 Gas de combustión con SO₂
- 116' Gas de combustión exento de SO₂
- 132 Torre de absorción
- 200 Eliminador de niebla / Agua de lavado
- 133A Bomba
- 55 133B Bomba
- 133C Bomba
- 148' Lodo

- | | | | |
|----|--|-------------------|-------------------|
| 60 | Controles Bomba C | Controles Bomba B | Controles Bomba A |
| | Carga 1514C | Carga 1514B | Carga 1514A |
| | Estado 1511C | Estado 1511B | Estado 1511A |
| | Control MPCC 1500 | | |
| | Punto de ajuste de carga y punto de ajuste de estado de la bomba C 1516C y 1513C | | |
| 65 | Carga y estado de la bomba C 1515C y 1512C | | |
| | Punto de ajuste de carga y punto de ajuste de estado de la bomba B 1516B y 1513B | | |
| | Carga y estado de la bomba B 1515B y 1512B | | |

Punto de ajuste de carga y punto de ajuste de estado de la bomba A 1516A y 1513A
Carga y estado de la bomba A 1515A y 1512A .

5 **FIGURA 18**

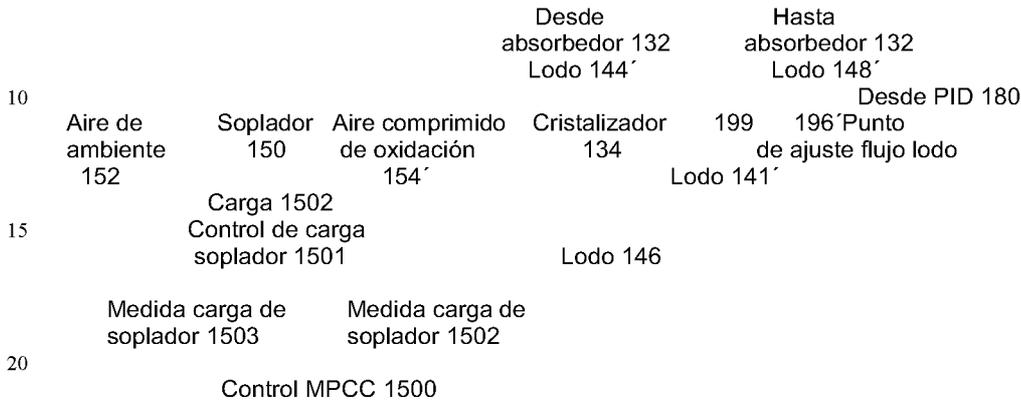


Figura 19

- Controlador 1500A .
- 25
- 1525 Medidos parámetros de proceso
- 183 Medido valor pH de lodo
- 189 Medida entrada de SO₂
- 1502 Carga de soplador
- 30 1505 Medida salida de SO₂
- 1506 Pureza de yeso medida en laboratorio
- 1509 Medida carga del sistema de generación de energía PGS
- 1512 Estado de bombas de lodo
- 1515 Carga de bombas de lodo
- 35 1520 Medidas condiciones de ambiente
- 1555 Exigencias
- 1922 Requisitos permiso salida de SO₂
- 1924 Requisitos pureza de yeso
- 40 1926 Requisitos O₂ disuelto en lodo
- 1928 Requisitos valor pH de lodo
- 1550 Datos de entrada no directamente relacionados con el proceso
- 1950 Futuros planos de operación
- 1910 Precio del yeso
- 45 1908 Costo de ácido orgánico
- 1906 Costo de unidad de energía
- 1904 Valor del abono por SO₂
- 1902 Factores de sintonización
- 50 1932 Calculada pureza del yeso
- 1934 Calculado O₂ disuelto en lodo
- 1936 Calculado valor pH del lodo
- 1500B Estimador
- 55 1560 Estimados parámetros

FIGURA 20

- 110 Sistema de generación de energía PGS
- 60 112 Gas de combustión sucio
- 117 Chimenea
- 122 Otros subsistemas de control de contaminación del aire APC
- 152 Aire de ambiente
- 2002 Reactor de la selectiva reducción catalítica SCR
- 65 2003 Analizador de NOx
- 2004 Analizador de NOx
- 2008 Gas de combustión exento de NOx
- 2009 Sensor de carga

- 2010 Controlador PID
- 2011 VP flujo de amoníaco
- 2014 Flujo de amoníaco
- 2020 Controlador PID
- 5 2021A Punto de ajuste del flujo de amoníaco
- 2021B Regulado punto de ajuste del flujo de amoníaco
- 2022 Calculada eficiencia en la eliminación de NOx
- 2033 Punto de ajuste de eliminación de NOx
- 2050 Rejilla de inyección de amoníaco NH₃
- 10 2055 NH₃, Aire de dilución y Gas de combustión
- 2060 Subsistema de almacenamiento y de suministro de NH₃
- 2061 Amoníaco NH₃
- 2070 Mezclador NH₃ / Aire de dilución
- 2071 NH₃ y aire de dilución
- 15 2080 Soplador de aire de dilución
- 2081 Aire de dilución
- 2110 Cálculo de la eficiencia en eliminación de NOx
- 2111 Medida salida de NOx
- 2112 Medida entrada de Nox
- 20 2170 Subsistema de SCR
- 2220 Avance de alimentación FF
- 2221 Señal de carga FF
- 2809 Medida carga

25 **FIGURA 21**

- 2010 Controlador PID del flujo de amoníaco
- 2011 VP del flujo de amoníaco
- 2012 Medido flujo de amoníaco
- 30 2020 Controlador PID de la eliminación de NOx
- 2021 Punto de ajuste del flujo de amoníaco
- 2022 Calculada eficiencia en la eliminación del NOx
- 2030 Selector de objetivo de la eliminación de NOx
- 2031 Objetivo del operador
- 35 2032 Recomendado límite de uso de catalizador
- 2033 Punto de ajuste de eliminación de NOx
- 2170 Subsistema de SCR

40 **FIGURA 22**

- 2805 Entrada / Salida de datos
- 2810 Procesador
- 2820 Memoria
- 45 2830 Interfase
- 2840 Lógica de estimación
- 2850 Lógica de predicción
- 2860 Lógica generadora de control
- 2870 Modelo de control dinámico
- 50 2880 Modelo de estimación dinámica
- 2885 Datos
- 2890 Base de datos históricos de emisiones de NOx

FIGURA 23A

- 55 110 Sistema de generación de energía PGS
- 112 Gas de combustión sucio
- 122 Otros subsistemas de control de contaminación del aire APC
- 117 Chimenea
- 60 152 Aire de ambiente
- 2002 Reactor de la selectiva reducción catalítica SCR
- 2003 Analizador de NOx
- 2004 Analizador de NOx
- 2006 Gas de combustión con NOx
- 65 2008 Gas de combustión exento de NOx
- 2009 Sensor de carga
- 2010 Controlador PID
- 2011 VP de flujo de amoníaco

	2012	Medido flujo de amoníaco
	2021A	Punto de ajuste del flujo de amoníaco
	2022	Calculada eficiencia en a eliminación de NOx
	2050	Rejilla de inyección de NH ₃
5	2055	NH ₃ , aire de dilución y gas de combustión
	2060	Subsistema de almacenamiento y de suministro de NH ₃
	2061	Amoníaco NH ₃
	2070	Mezclador de NH ₃ /Aire de dilución
	2071	NH ₃ y aire de dilución
10	2080	Soplador de aire de dilución
	2081	Aire de dilución
	2110	Cálculo de eficiencia en la eliminación del NOx
	2111	Medida salida de NOx
	2112	Medida entrada de NOx
15	2170	Subsistema de SCR
	2500	Control MPCC
	2610	Analizador de NH ₃
	2611	Medido derrame de amoníaco
	2809	Medida carga

20

FIGURA 23B

	1906	Costo de unidad de energía
	2012	Medido flujo de amoníaco
25	2022	Eficiencia de eliminación
	2111	Medida salida de NOx
	2112	Medida entrada de Nox
	2500	Sistema de control MPCC
	2500A	Controlador
30	2500B	Estimador
	2520	Medidas condiciones de ambiente
	2525	Medidas parámetros del proceso
	2550	Entradas no directamente relacionadas con el proceso
	2555	Exigencias
35	2560	Estimados parámetros
	2612	Calculado derrame de amoníaco
	2613	Máximo derrame deseado de amoníaco
	2809	Medida carga del sistema de generación de energía PGS
	2902	Factores de sintonización
40	2904	Valor de abono por NOx
	2910	Precio de amoníaco
	2922	Requisitos de permiso de salida de NOx
	2950	Planes de operaciones futuras.

REIVINDICACIONES

- 1ª.- Controlador (180) para dirigir la operación de un sistema de control de contaminación de aire (APC) para llevar a efecto un proceso para tratar un gas de combustión con contenido en contaminantes, con el fin de controlar las emisiones de un contaminante, teniendo este controlador múltiples parámetros de proceso (MPPs) y representando uno ó varios de los MPPs uno ó varios parámetros de proceso controlables (CTPPs), mientras que otro de los múltiples parámetros de proceso (MPPs) representa una cantidad del contaminante (AOP), emitido por el sistema; controlador éste que está caracterizado porque el mismo comprende:
- Un dispositivo de entrada de datos (720), que está configurado para identificar un objetivo de optimización; Un procesador de control (705), configurado con la lógica para determinar un punto de ajuste para por lo menos uno ó varios controlables parámetros CTPPs en base a los valores actuales de los parámetros de proceso MPPs y en base al identificado objetivo de optimización, así como configurado para dirigir el control de por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs en base al punto de ajuste, determinado para este controlable parámetro CTPP;
- El proceso tiene un definido valor de la cantidad del contaminante AOPV que representa un objetivo ó el límite de un valor actual (AV) de la emitida cantidad del contaminante (AOP); El procesador de control está configurado con otra lógica para determinar el punto de ajuste para por lo menos un controlable parámetro CTPP, también en base al valor de la cantidad del contaminante AOPV; y El identificado objetivo de optimización consiste en mantener la emitida cantidad del contaminante AOP a un nivel por debajo del valor de la cantidad del contaminante AOPV.
- 2ª.- Controlador (180) conforme a la reivindicación 1) y caracterizado, además, porque el identificado objetivo de optimización consiste en reducir al mínimo la emitida cantidad del contaminante AOP.
- 3ª.- Controlador (180) conforme a las reivindicaciones 1) ó 2) y caracterizado, además, porque la realización del proceso por parte del sistema de control de contaminación de aire APC tiene por resultado la producción de un subproducto; mientras que otro identificado objetivo de optimización consiste en controlar la calidad del producido subproducto con respecto a un deseado valor, con el fin de aumentar al máximo la calidad del producido subproducto ó de reducir al mínimo la calidad del producido subproducto.
- 4ª.- Controlador (180) conforme a las reivindicaciones 1) ó 2) y caracterizado, además, porque la realización del proceso por parte del sistema de control de contaminación de aire APC tiene por resultado la producción de un subproducto, y uno de los parámetros de proceso MPPs representa la calidad del producido subproducto (QPBP); el proceso tiene un definido valor de la calidad del producido subproducto (QPBPV) que representa un objetivo ó una limitación para la calidad actual del producido subproducto QPBP; mientras que otro identificado objetivo de optimización consiste en mantener la calidad del producido subproducto QPBP a un determinado nivel, ó por encima del valor de la calidad del producido subproducto (QPBPV) ó bien por debajo de este valor.
- 5ª.- Controlador (180) conforme a las reivindicaciones 1) ó 2) y caracterizado, además, porque la realización del proceso por parte del sistema de control de contaminación de aire APC tiene por resultado la producción de un subproducto, y uno de los parámetros de proceso MPPs representa la calidad del producido subproducto (QPBP); el proceso también tiene un definido valor de la calidad del producido subproducto (QPBPV) que representa un objetivo ó una limitación para la calidad actual del producido subproducto QPBP; así como caracterizado porque el procesador de control está configurado con otra lógica para determinar el punto de ajuste para por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs, también en base al valor de la calidad del producido subproducto QPBPV.
- 6ª.- Controlador (180) conforme a una de las reivindicaciones anteriormente mencionadas y caracterizado, además, porque otro identificado objetivo de optimización consiste en reducir al mínimo el costo de la operación del sistema.
- 7ª.- Controlador (180) conforme a una de las reivindicaciones anteriormente mencionadas y caracterizado, además, porque el mismo comprende también:
- Un modelo de proceso de una red neuronal y otro modelo de proceso de una red no-neuronal que representan las relaciones entre cada uno de los controlables parámetros CTPPs y la emitida cantidad del contaminante AOP; así como caracterizado porque el procesador de control está configurado con otra lógica para determinar el punto de ajuste para por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs, también en base a uno de los modelos.
- 8ª.- Controlador (180) conforme a la reivindicación 7) y caracterizado, además, porque un modelo comprende uno de los modelos de primeros principios, un modelo híbrido y un modelo de regresión.
- 9ª.- Controlador (180) conforme a una de las reivindicaciones anteriormente mencionadas y caracterizado, además, porque:
- El sistema constituye un sistema de desulfuración (130') del gas de combustión húmedo WFGD, el cual que recibe el gas de combustión (114), que está cargado de dióxido de azufre SO₂, y este sistema aplica un lodo de piedra caliza (148') con el fin de eliminar el SO₂ del gas de combustión (114), cargado del SO₂, para de este modo

controlar las emisiones del SO₂ y para despedir el gas de combustión desulfurado; por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs comprende uno ó varios primeros parámetros, correspondiente al valor pH del lodo de piedra caliza (148') que es aplicado; como asimismo comprende este controlable parámetro un segundo parámetro, correspondiente a la distribución del aplicado lodo de piedra caliza (148'); la cantidad del contaminante AOP representa la cantidad del SO₂ dentro del despedido gas de combustión desulfurado; mientras que el procesador de control (705) determina el punto de ajuste para uno de los primeros ó de los segundos parámetros en base a: (i) el valor actual de este parámetro; (ii) la cantidad del SO₂ dentro del despedido gas de combustión desulfurado; y (iii) en base al identificado objetivo de optimización, y este procesador de control dirige el control de un parámetro en base al determinado punto de ajuste para este parámetro y con el fin de optimizar las operaciones del sistema (130') de WFGD a la vista del identificado objetivo de optimización.

10^a.- Controlador (180) conforme a la reivindicación 9) y caracterizado, además, porque:

El sistema de desulfuración WFGD también aplica un aire de oxidación (154') para cristalizar el SO₂, eliminado del recibido gas de combustión húmedo (114), que está cargado del SO₂, y para producir, de este modo, el yeso como el subproducto de la eliminación del SO₂ del recibido gas de combustión húmedo (114), que está cargado del SO₂; por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs comprende uno ó varios primeros parámetros, un segundo parámetro y un tercer parámetro, correspondiente a la cantidad del aire de oxidación (154'), que es aplicado; así como caracterizado porque el procesador de control (705) también determina el punto de ajuste para uno de los parámetros primero, segundo ó tercero en base a (i) el valor actual de este parámetro; (ii) la cantidad del SO₂ dentro del despedido gas de combustión desulfurado; y (iii) el identificado objetivo de optimización, y este procesador de control también dirige el control de un parámetro en base al determinado punto de ajuste para este parámetro y con el fin de optimizar las operaciones del sistema de WFGD a la vista del identificado objetivo de optimización.

11^a.- Controlador (180) conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 8) y caracterizado, además, porque el sistema es un sistema (2170) de selectiva reducción catalítica (SCR) que recibe el gas de combustión (2008), que está cargado del óxido de nitrógeno NO_x, y el mismo aplica amoníaco y un aire de dilución (2055) para eliminar el NO_x del recibido gas de combustión (2008), que está cargado del NO_x para, de este modo, controlar las emisiones del NO_x, y este sistema despide el gas de combustión, que está desprovisto del NO_x; por lo menos uno de los controlables parámetros CTPPs representa un parámetro que corresponde a la cantidad del amoníaco aplicado; la cantidad de contaminante AOP es la cantidad del NO_x dentro del despedido gas de combustión; mientras que el procesador de control (705) determina el punto de ajuste para el parámetro en base a: (i) el valor actual de este parámetro; (ii) la cantidad del NO_x dentro del despedido gas de combustión; y (iii) el identificado objetivo de optimización, y este procesador de control dirige el control del parámetro en base al determinado punto de ajuste y con el fin de optimizar las operaciones del sistema (217) de la SCR a la vista del identificado objetivo de optimización.

12^a.- Controlador (180) conforme a la reivindicación 11) y caracterizado, además, porque los parámetros de proceso MPPs comprenden la cantidad del amoníaco dentro del despedido gas de combustión; así como caracterizado porque el procesador de control (705) determina el punto de ajuste para el parámetro también en base al valor actual de la cantidad de amoníaco en los valores del despedido gas de combustión.

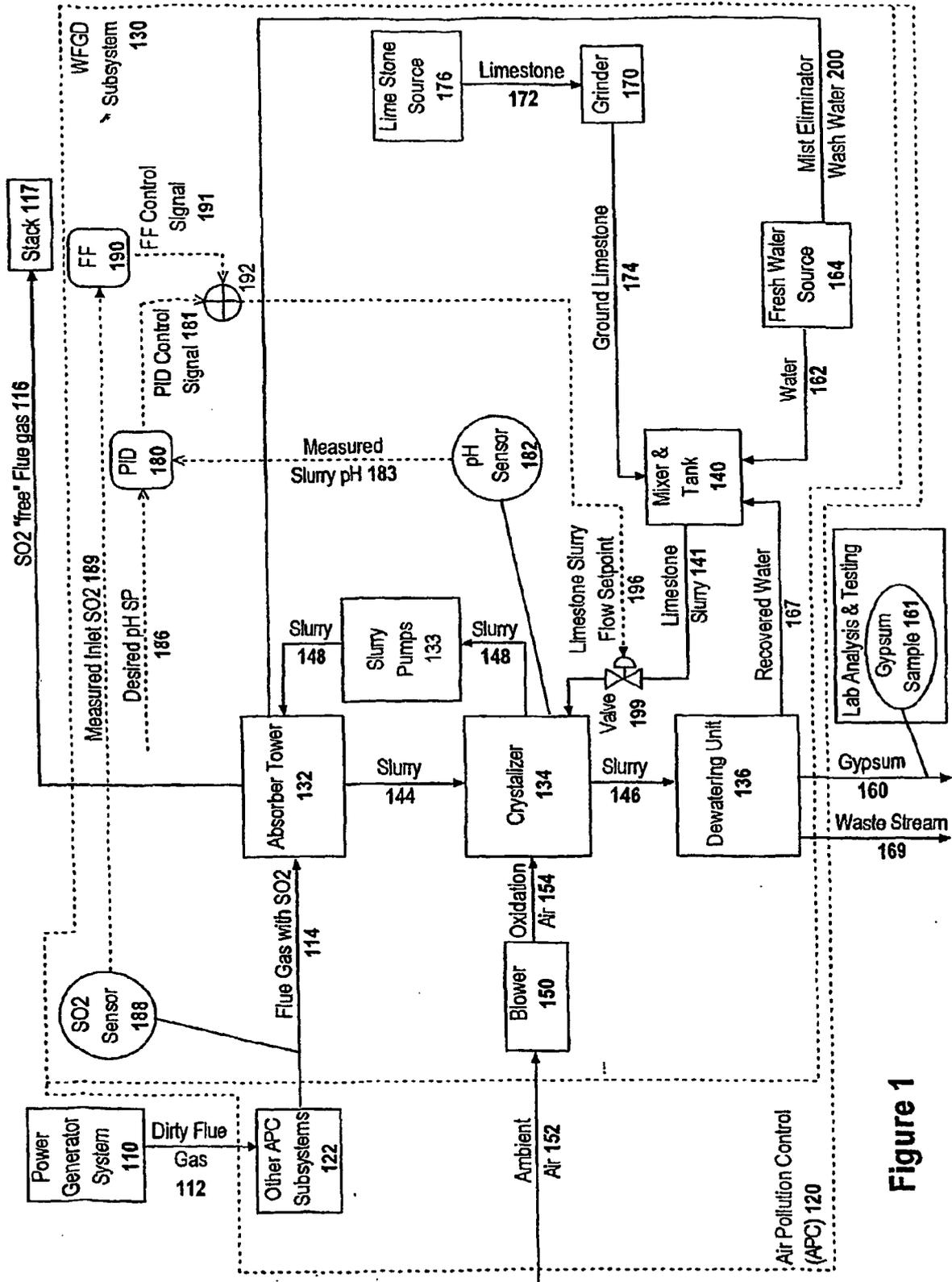


Figure 1

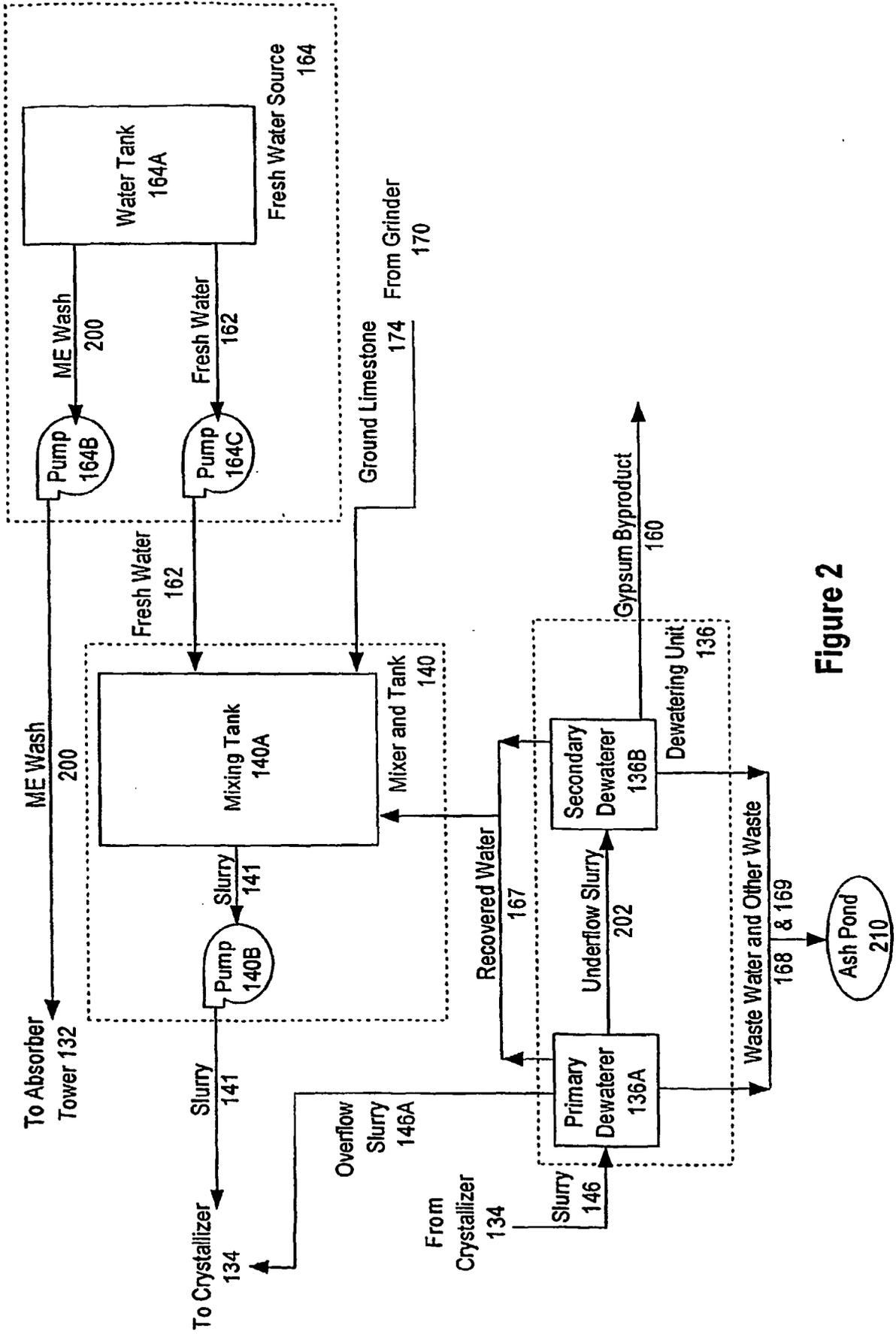


Figure 2

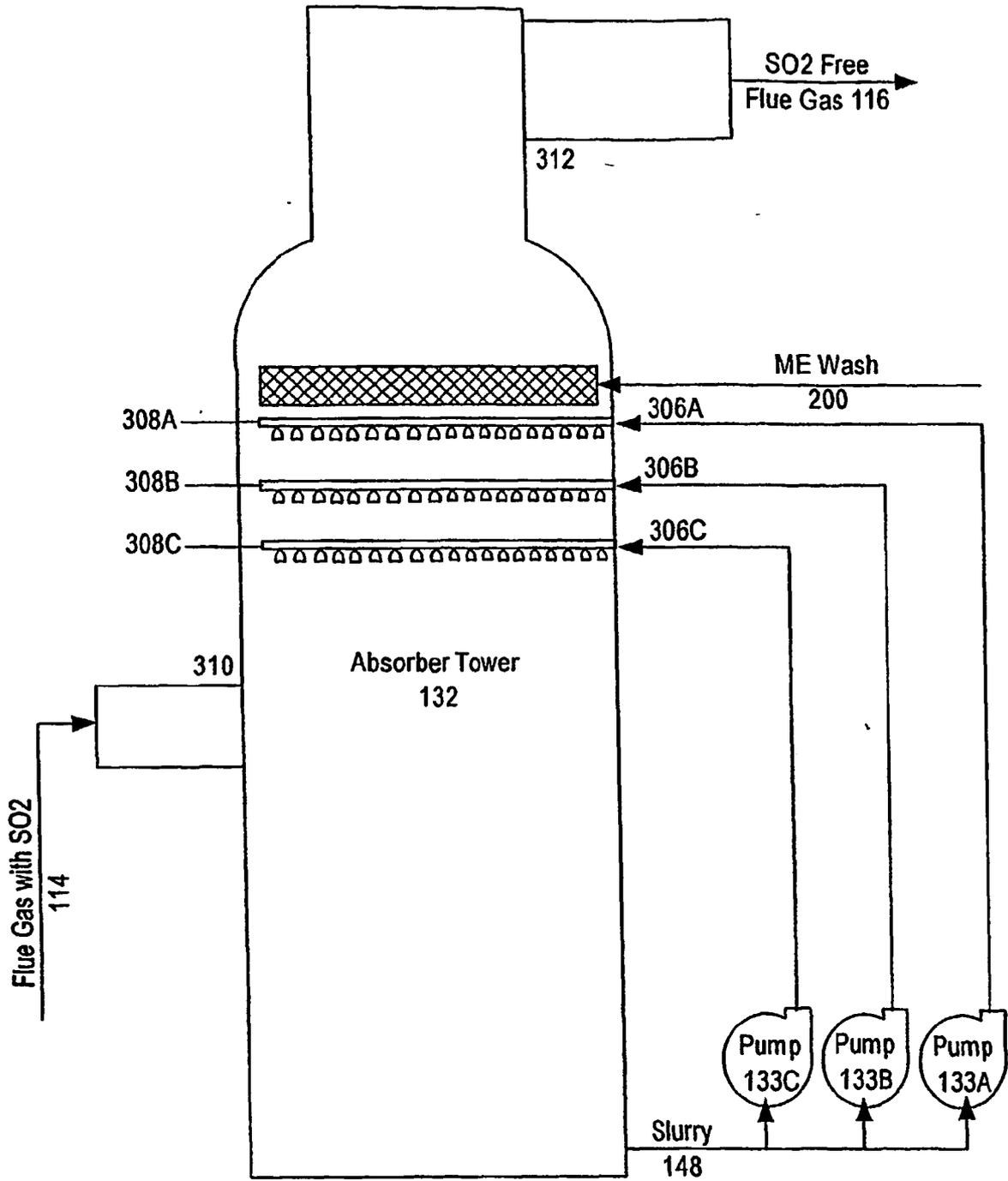


Figure 3

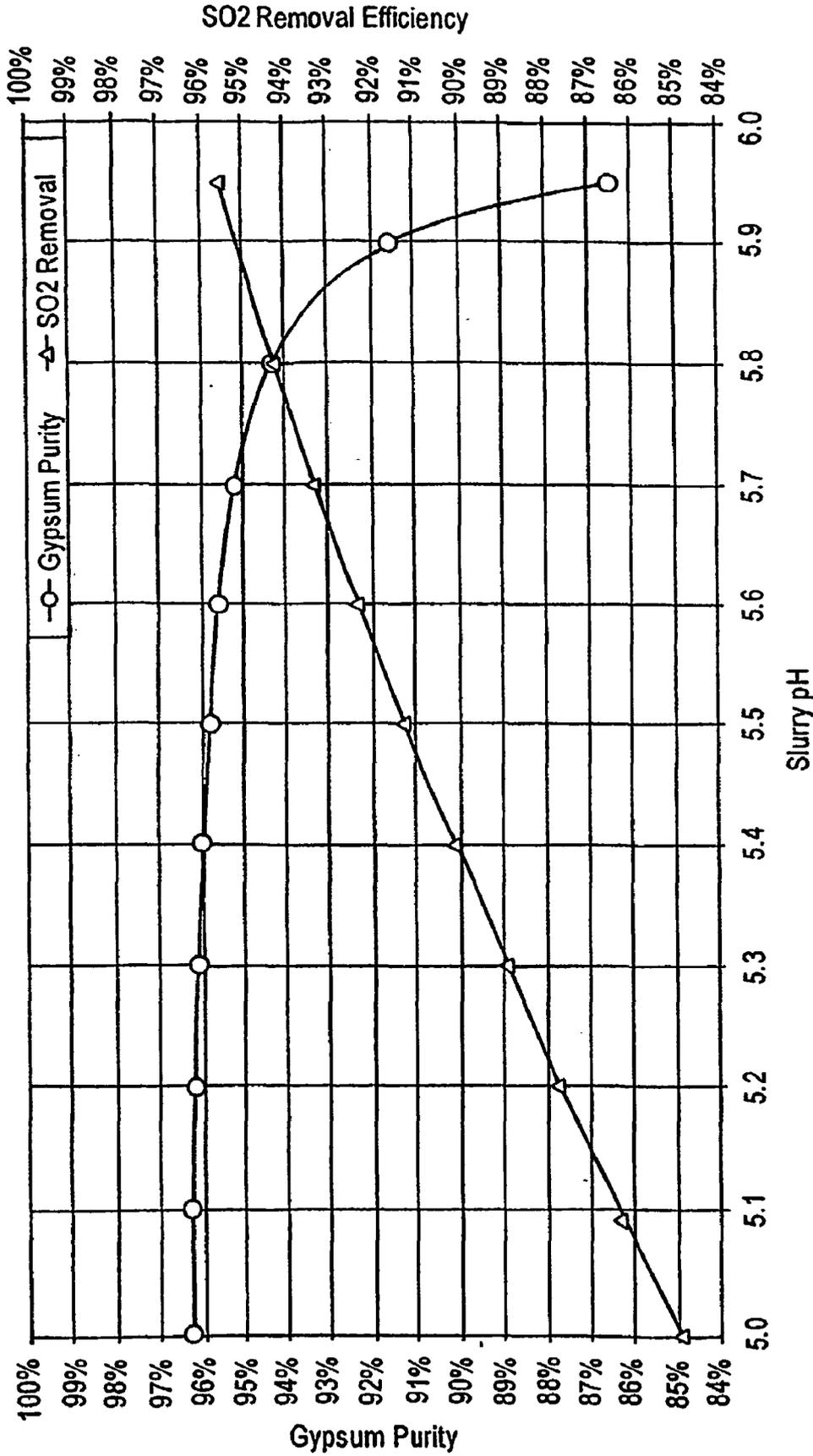


Figure 4

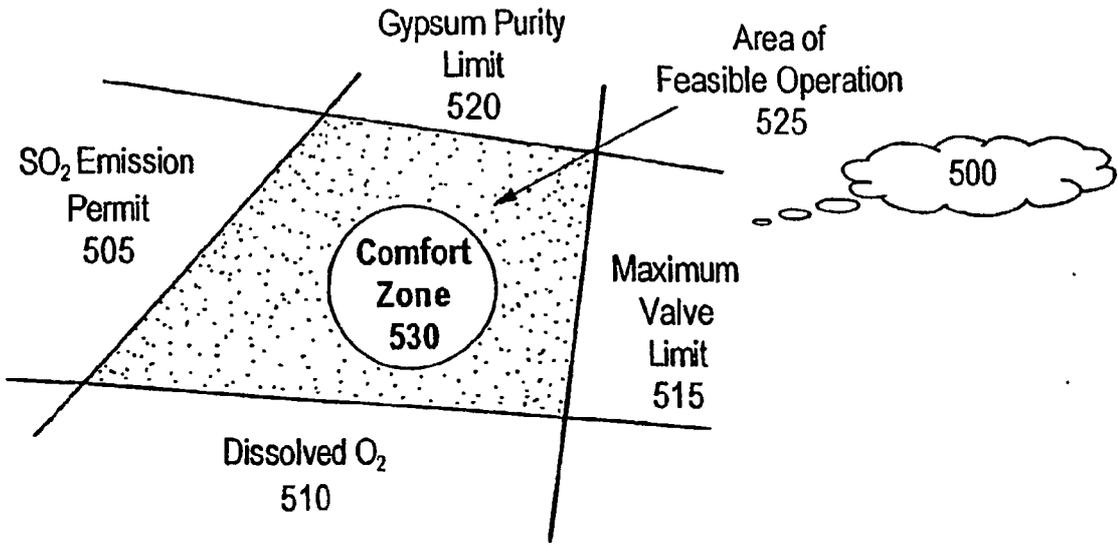


Figure 5A

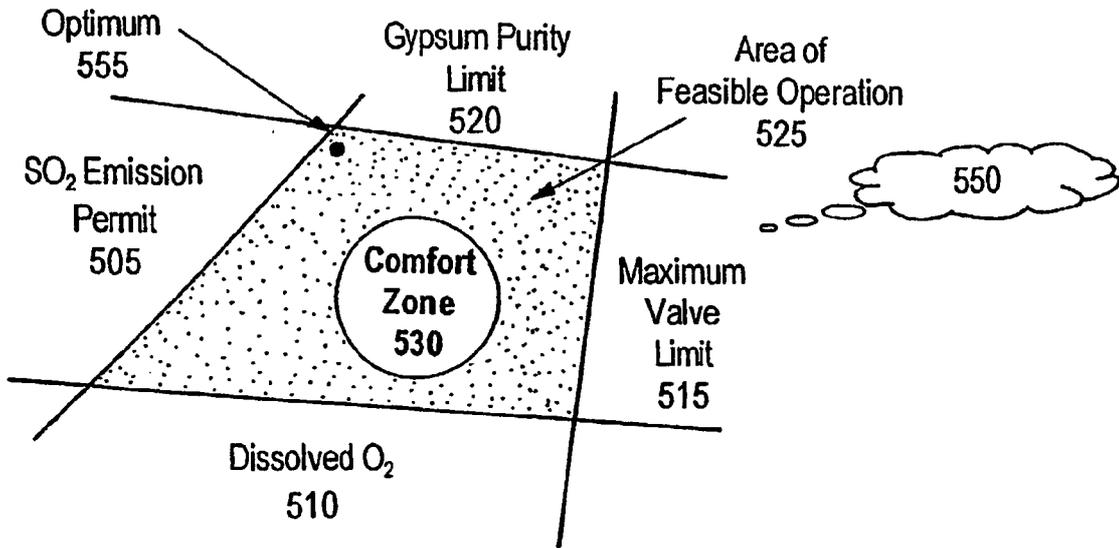


Figure 5B

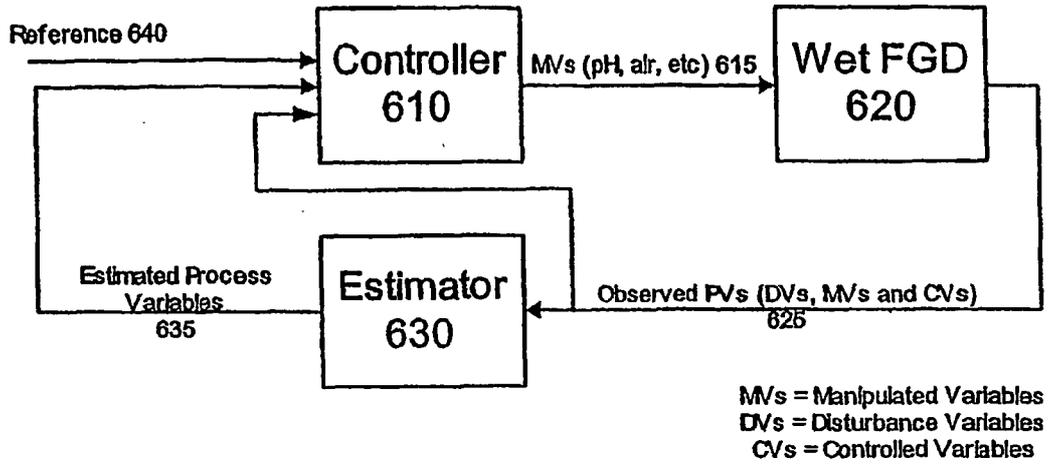


Figure 6

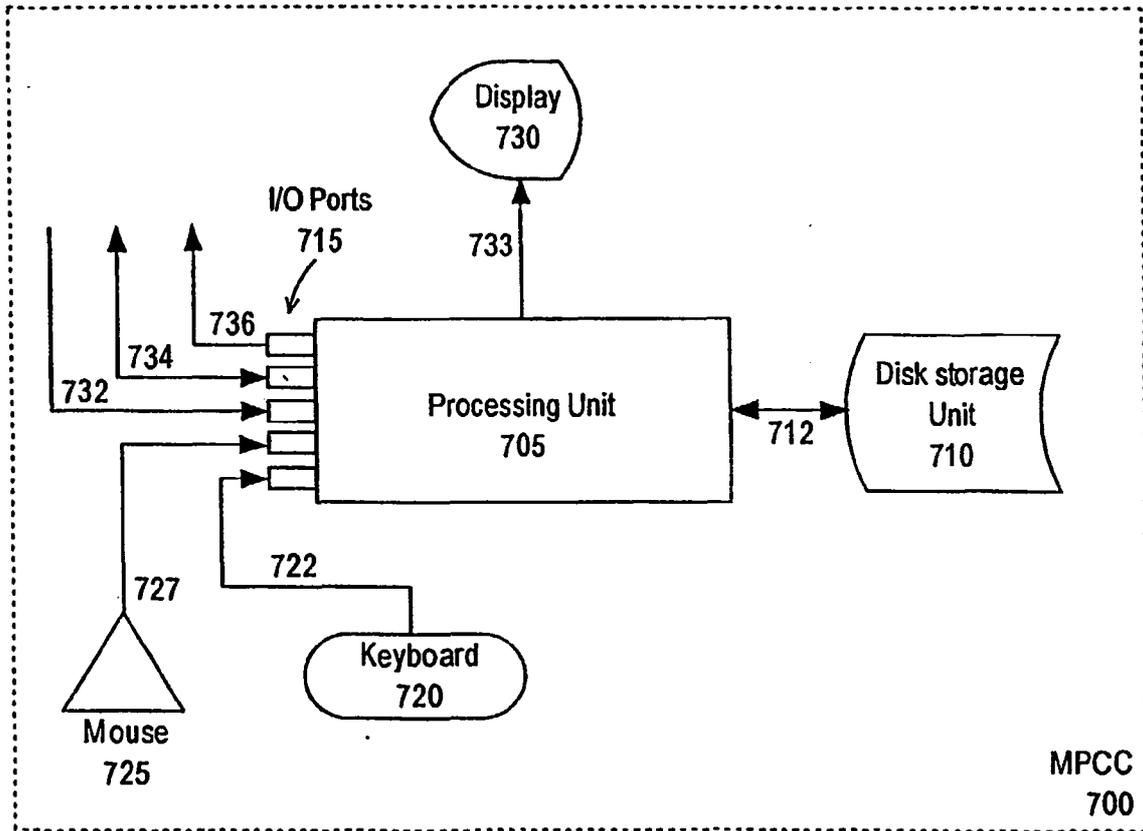


Figure 7

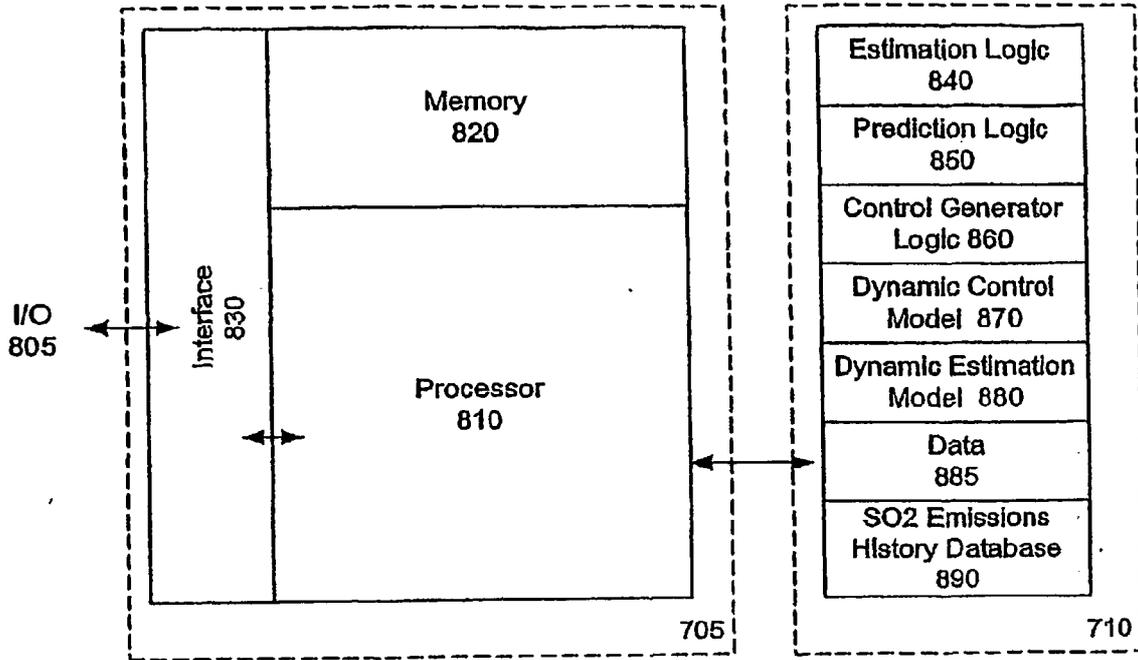


Figure 8

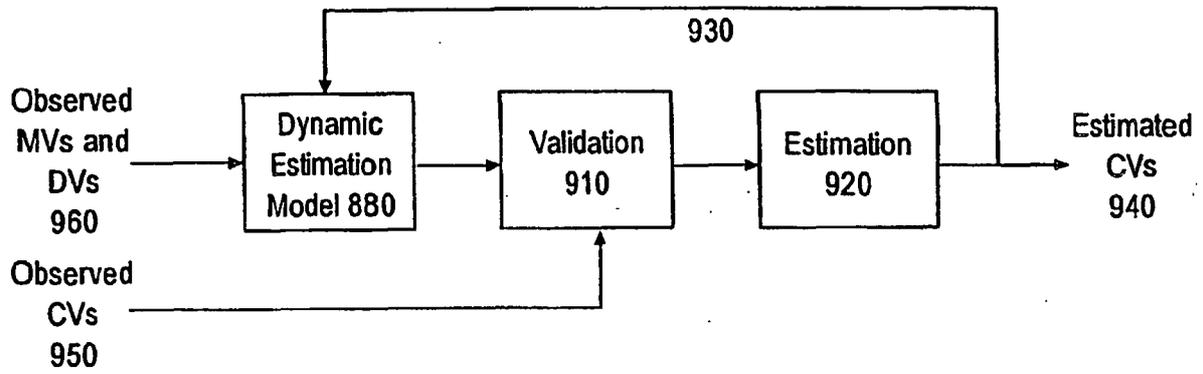


Figure 9

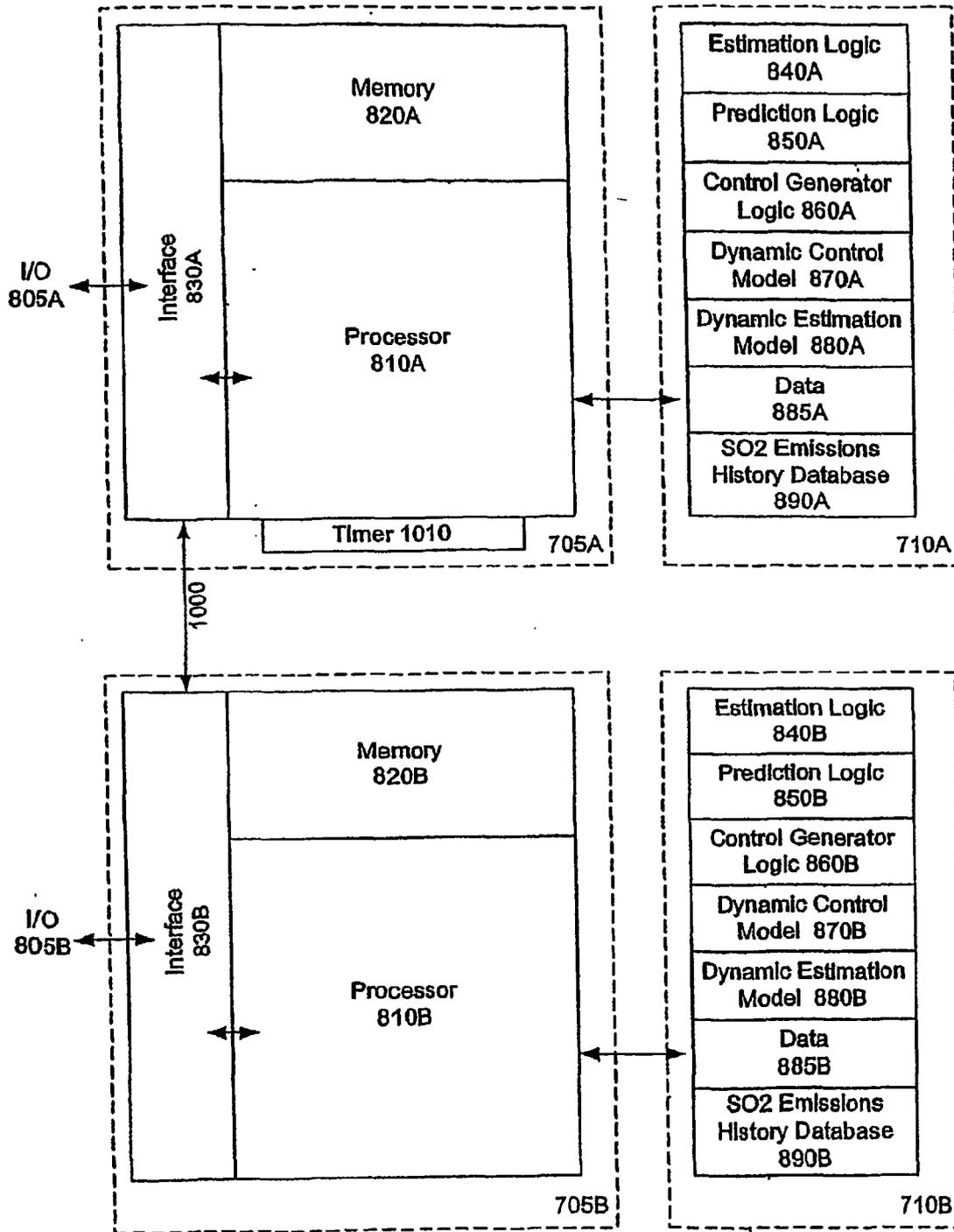


Figure 10

The screenshot shows a window titled "Rolling Average Management" with the following content:

- WFGD Rolling Average SO2 Emission Optimization
- Projected Unit Run Factor: 90%
- Projected WFGD Run Factor: 95%
- Buttons: "Add Planned Outage", "Modify/Review Planned Outages", and "Exit".

A thought bubble on the right side of the window contains the number "1100".

Figure 11A

The screenshot shows a dialog box titled "Add Outage" with the following fields and buttons:

- Description: Fall Shutdown
- Start Date: 10/10/200
- End Date: 10/10/200
- Capacity During Outage: 0%
- Buttons: "Add Outage" and "Cancel".

A thought bubble on the right side of the dialog box contains the number "1110".

Figure 11B

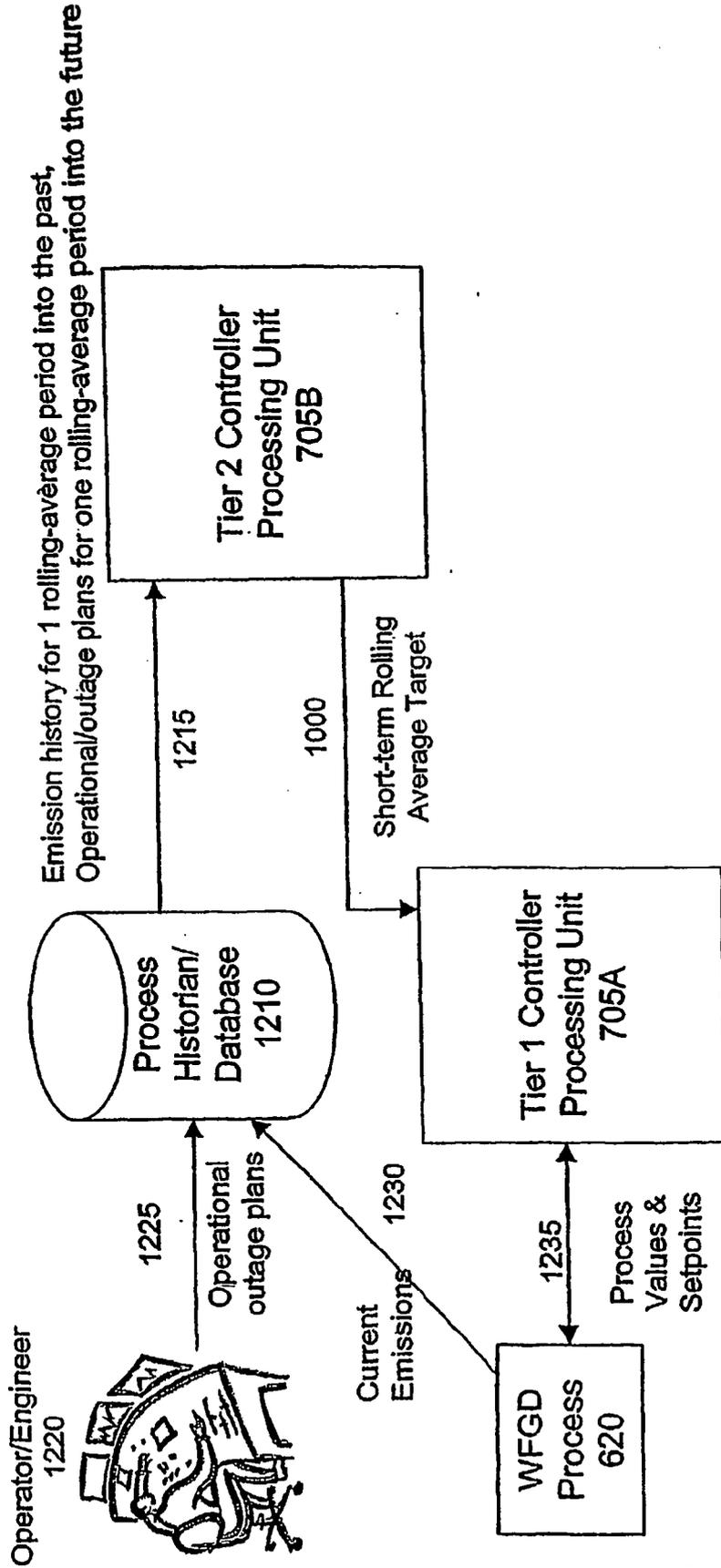


Figure 12

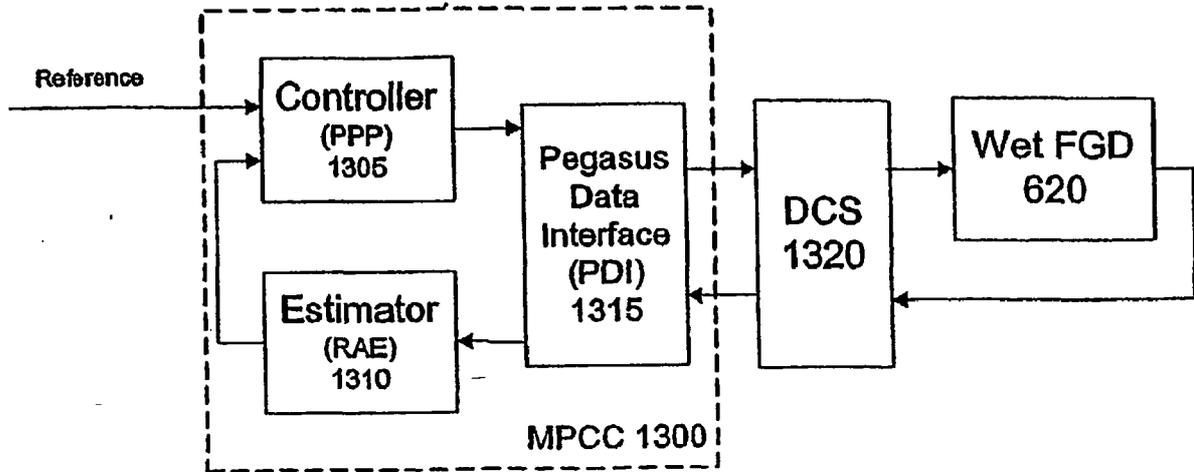


Figure 13

1400

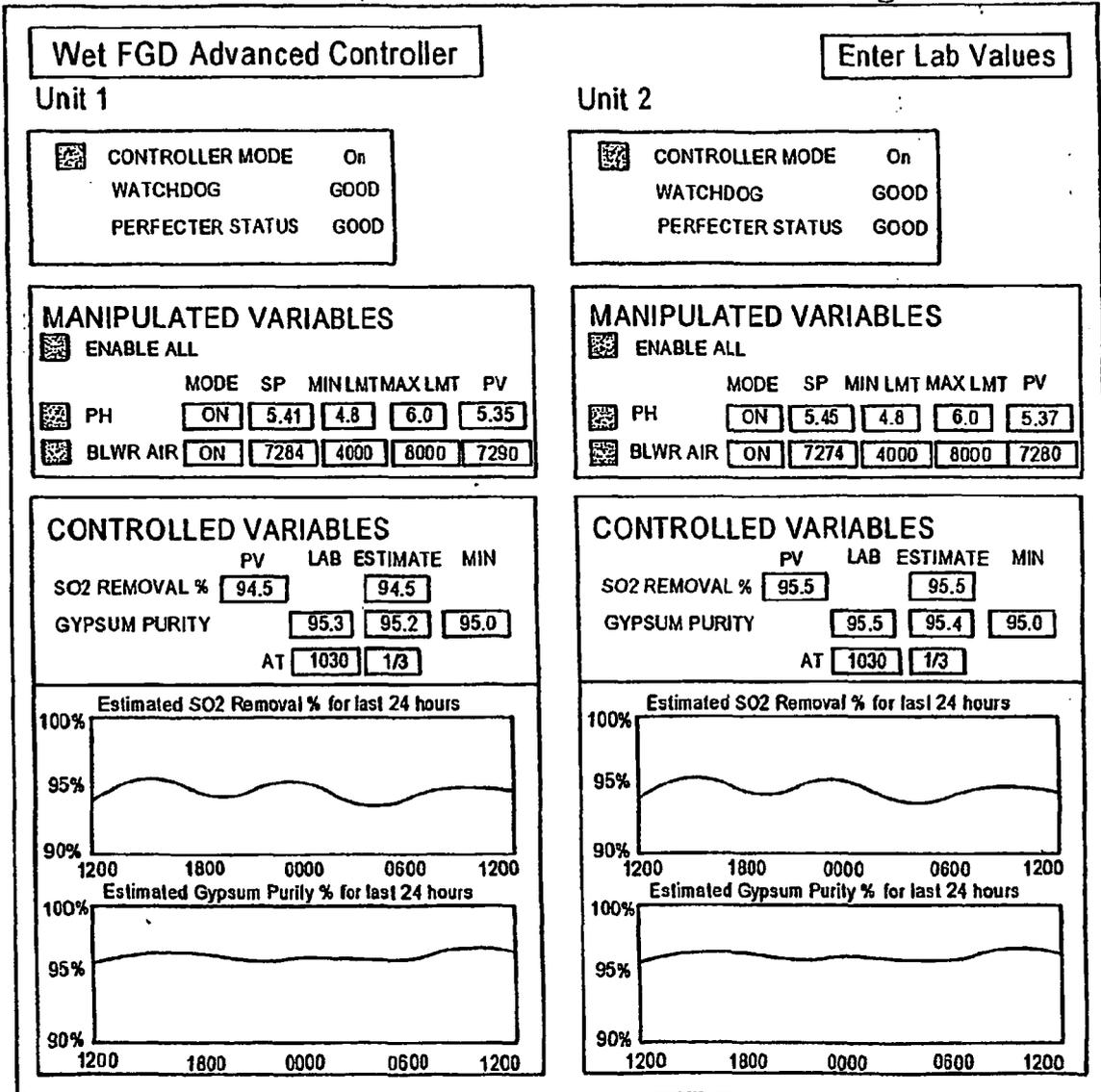


Figure 14A

1450

Lab Sample Entry Form	Advanced Controller																																																																
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Unit 1 Lab Sample Entry</p> <hr/> <p>UNIT 1 GYPSUM PURITY</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PURITY</td> <td style="text-align: center;">95.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 3</td> <td style="text-align: center;">1030</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> <hr/> <p>ABSORBER 1 CHEMISTRY</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (PPM)</td> </tr> <tr> <td>CHLORIDE</td> <td style="text-align: center;">1700</td> </tr> <tr> <td>MAGNESIUM</td> <td style="text-align: center;">3500</td> </tr> <tr> <td>FLUORIDE</td> <td style="text-align: center;">67</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> </div>		VALUE (%)		PURITY	95.6			MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 3	1030	<input type="button" value="UPDATE"/>				VALUE (PPM)	CHLORIDE	1700	MAGNESIUM	3500	FLUORIDE	67		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Unit 2 Lab Sample Entry</p> <hr/> <p>UNIT 2 GYPSUM PURITY</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PURITY</td> <td style="text-align: center;">95.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 3</td> <td style="text-align: center;">0600</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> <hr/> <p>ABSORBER 2 CHEMISTRY</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (PPM)</td> </tr> <tr> <td>CHLORIDE</td> <td style="text-align: center;">1800</td> </tr> <tr> <td>MAGNESIUM</td> <td style="text-align: center;">3200</td> </tr> <tr> <td>FLUORIDE</td> <td style="text-align: center;">82</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> </div>		VALUE (%)		PURITY	95.3			MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 3	0600	<input type="button" value="UPDATE"/>				VALUE (PPM)	CHLORIDE	1800	MAGNESIUM	3200	FLUORIDE	82		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>		
	VALUE (%)																																																																
PURITY	95.6																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 3	1030																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	
	VALUE (PPM)																																																																
CHLORIDE	1700																																																																
MAGNESIUM	3500																																																																
FLUORIDE	67																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 2	0950																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	
	VALUE (%)																																																																
PURITY	95.3																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 3	0600																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	
	VALUE (PPM)																																																																
CHLORIDE	1800																																																																
MAGNESIUM	3200																																																																
FLUORIDE	82																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 2	0950																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">UNIT 1 AND 2 COMBINED LAB SAMPLE ENTRY</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>GYPSUM PURITY</td> <td style="text-align: center;">92.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>LS PURITY</td> <td style="text-align: center;">96.7</td> </tr> <tr> <td>LS GRIND</td> <td style="text-align: center;">94.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table> </td> </tr> </table> </div>		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>GYPSUM PURITY</td> <td style="text-align: center;">92.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table>		VALUE (%)	GYPSUM PURITY	92.3		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>LS PURITY</td> <td style="text-align: center;">96.7</td> </tr> <tr> <td>LS GRIND</td> <td style="text-align: center;">94.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table>		VALUE (%)	LS PURITY	96.7	LS GRIND	94.3		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>																																				
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>GYPSUM PURITY</td> <td style="text-align: center;">92.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table>		VALUE (%)	GYPSUM PURITY	92.3		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">VALUE (%)</td> </tr> <tr> <td>LS PURITY</td> <td style="text-align: center;">96.7</td> </tr> <tr> <td>LS GRIND</td> <td style="text-align: center;">94.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MONTH DAY</td> <td style="text-align: center;">TIME</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE TIME</td> <td style="text-align: center;">1 2</td> <td style="text-align: center;">0950</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><input type="button" value="UPDATE"/></td> </tr> </table>		VALUE (%)	LS PURITY	96.7	LS GRIND	94.3		MONTH DAY	TIME	SAMPLE TIME	1 2	0950	<input type="button" value="UPDATE"/>																																						
	VALUE (%)																																																																
GYPSUM PURITY	92.3																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 2	0950																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	
	VALUE (%)																																																																
LS PURITY	96.7																																																																
LS GRIND	94.3																																																																
	MONTH DAY	TIME																																																															
SAMPLE TIME	1 2	0950																																																															
<input type="button" value="UPDATE"/>																																																																	

Figure 14B

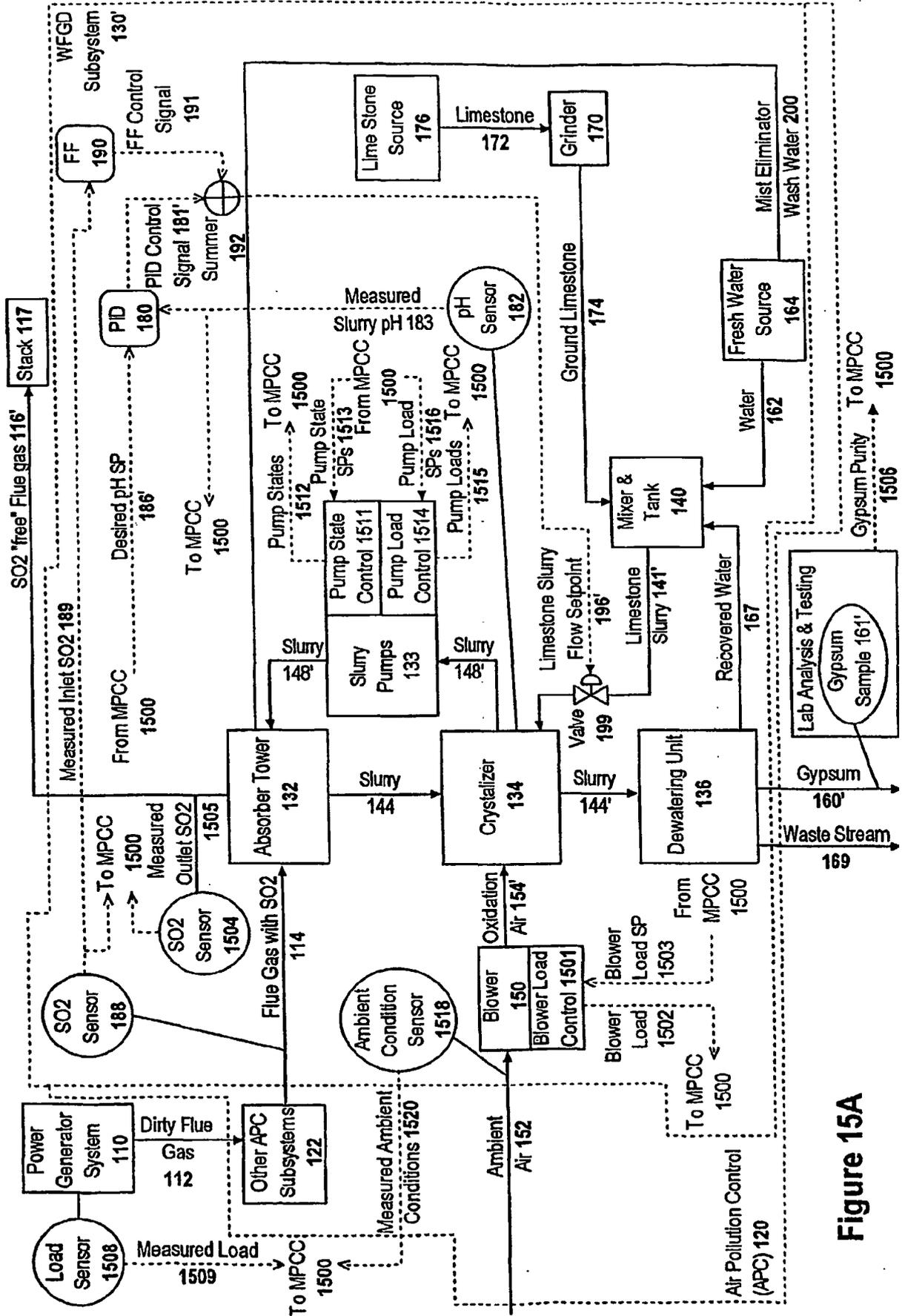


Figure 15A

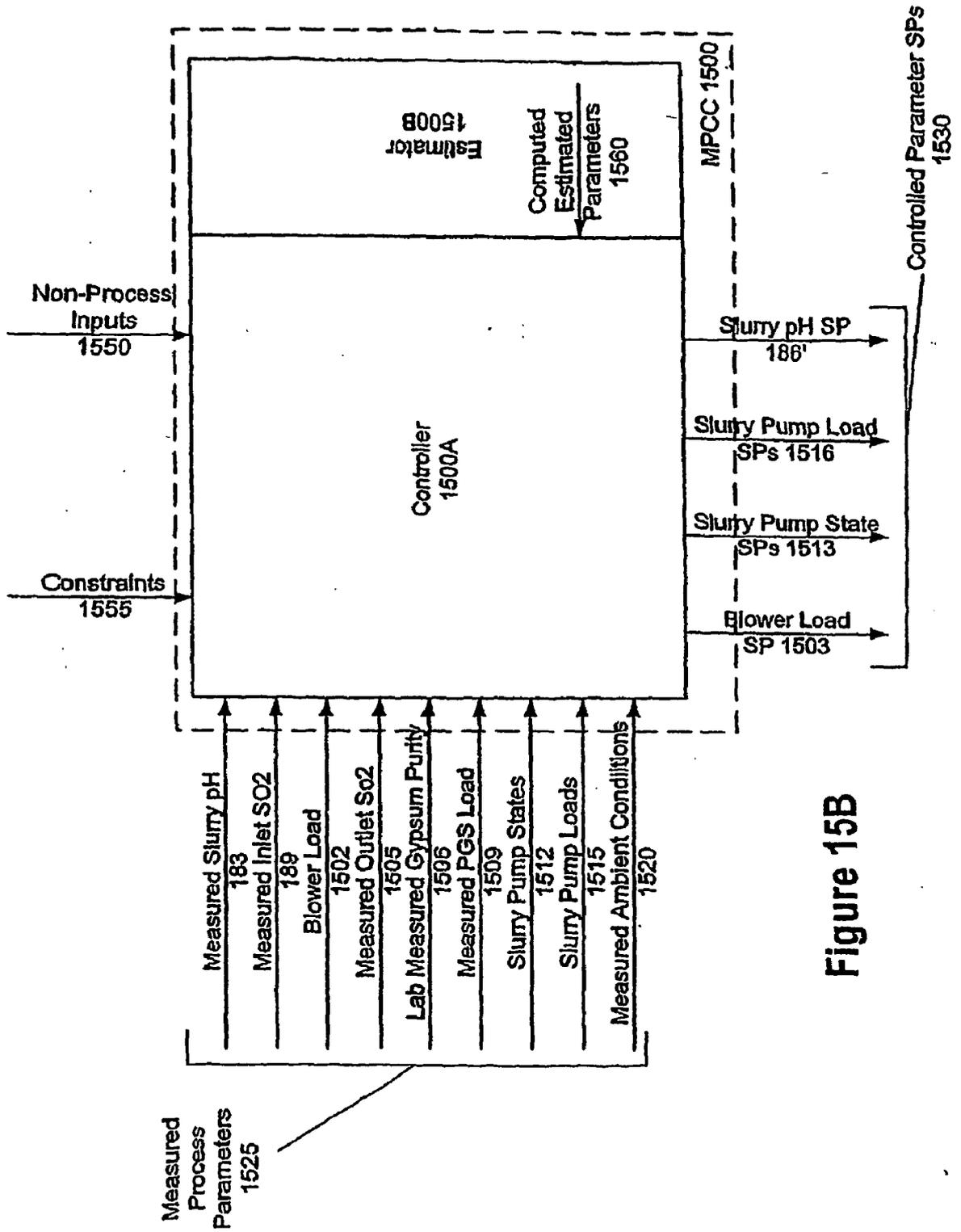


Figure 15B

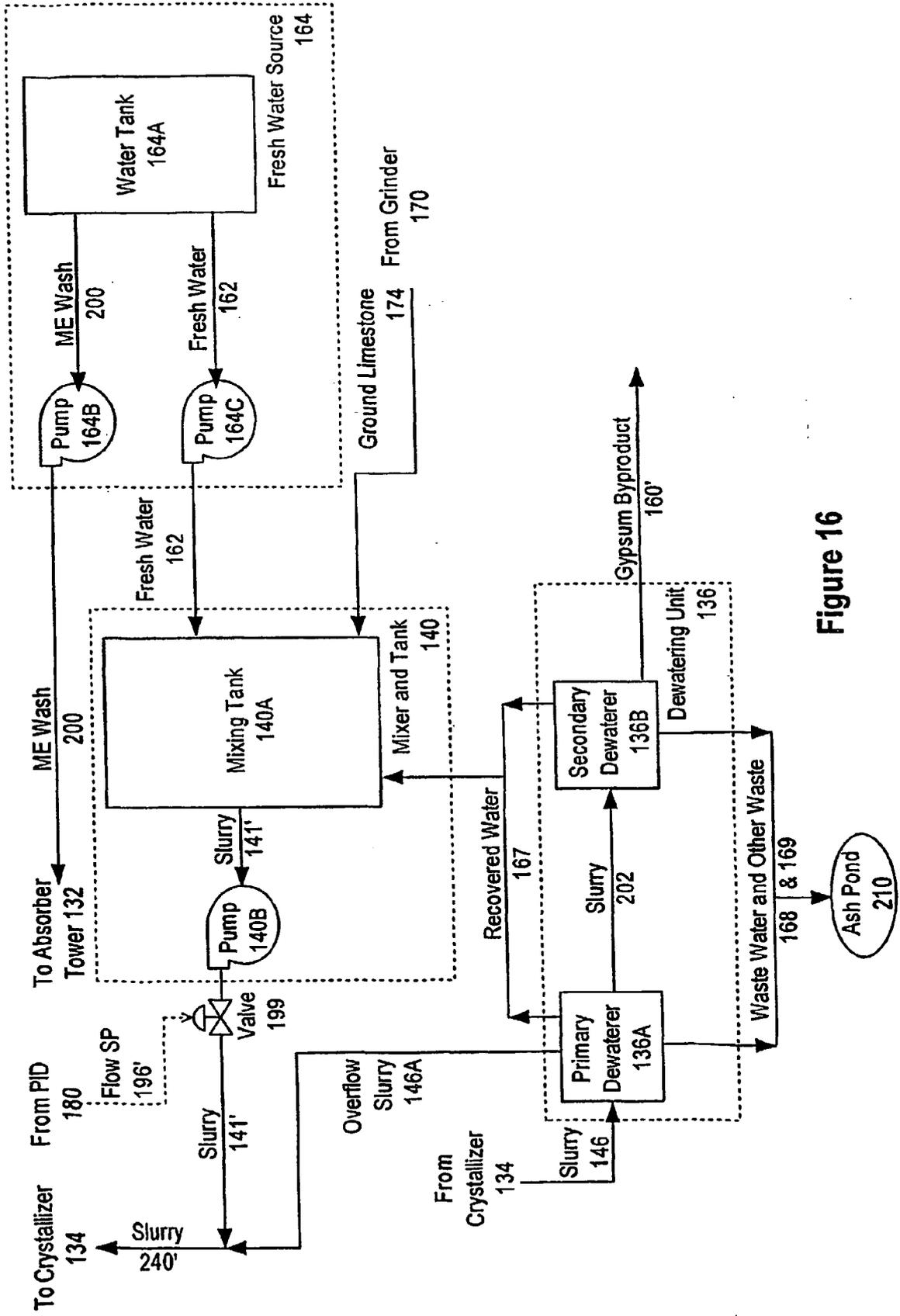


Figure 16

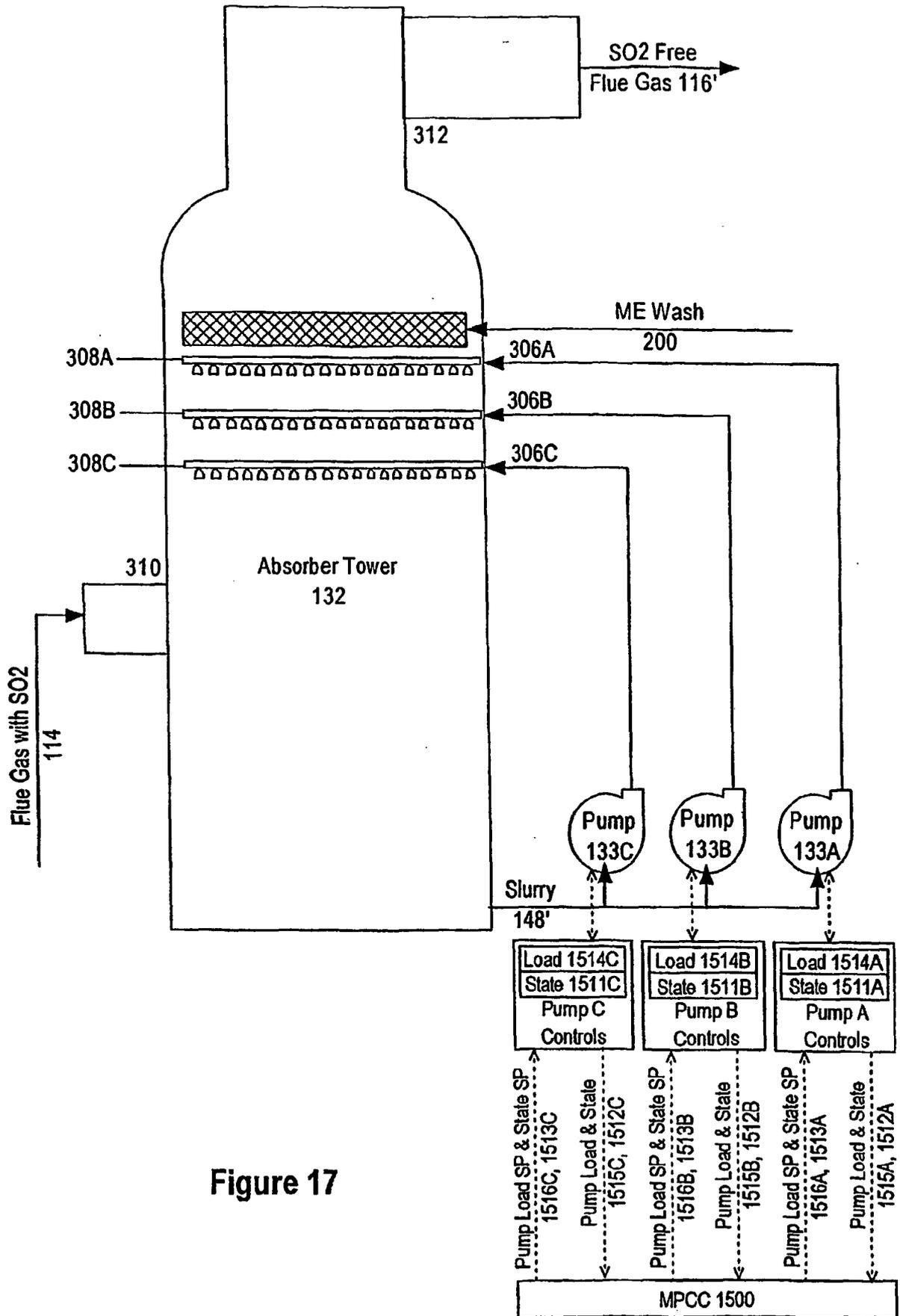


Figure 17

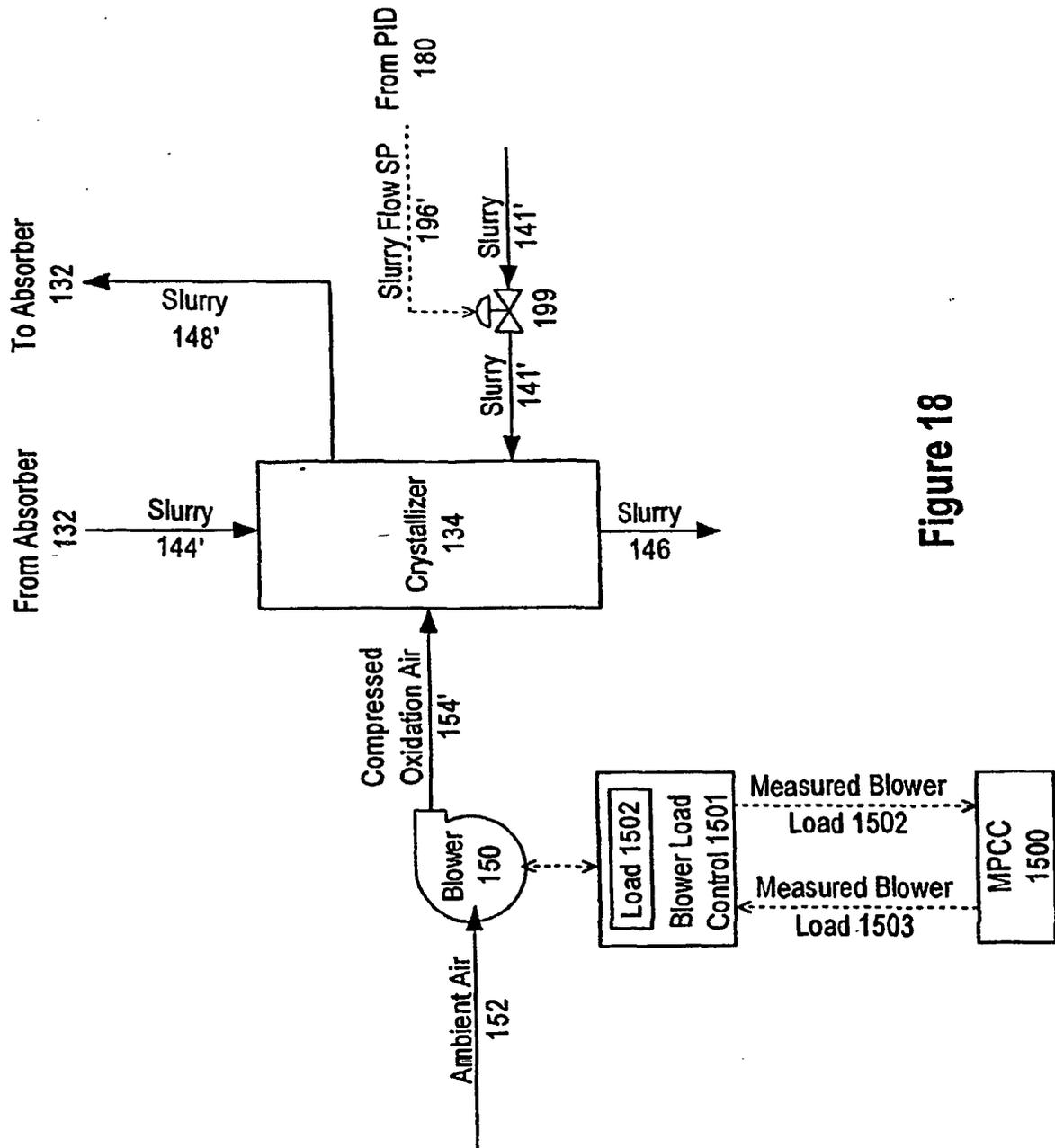


Figure 18

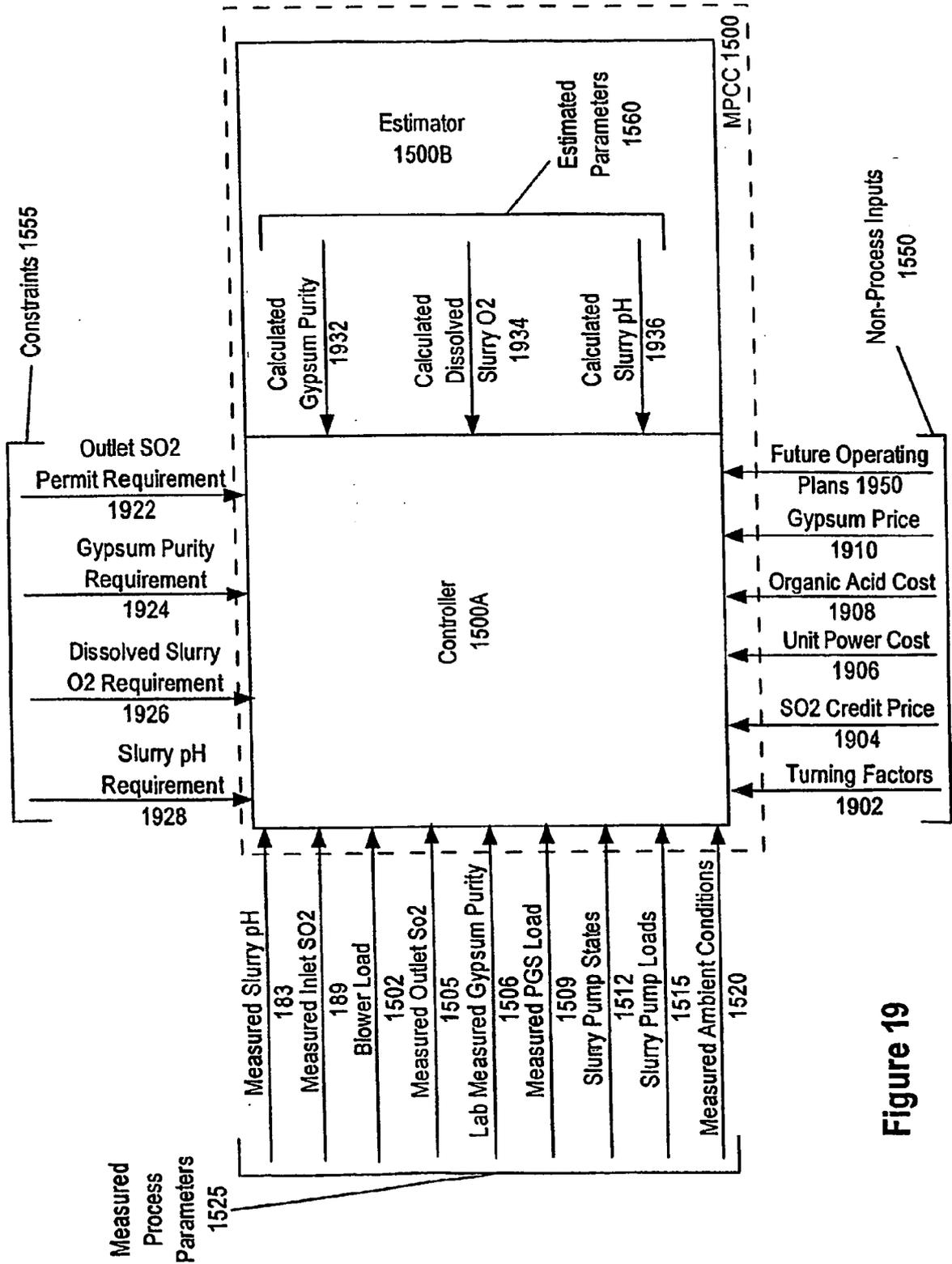


Figure 19

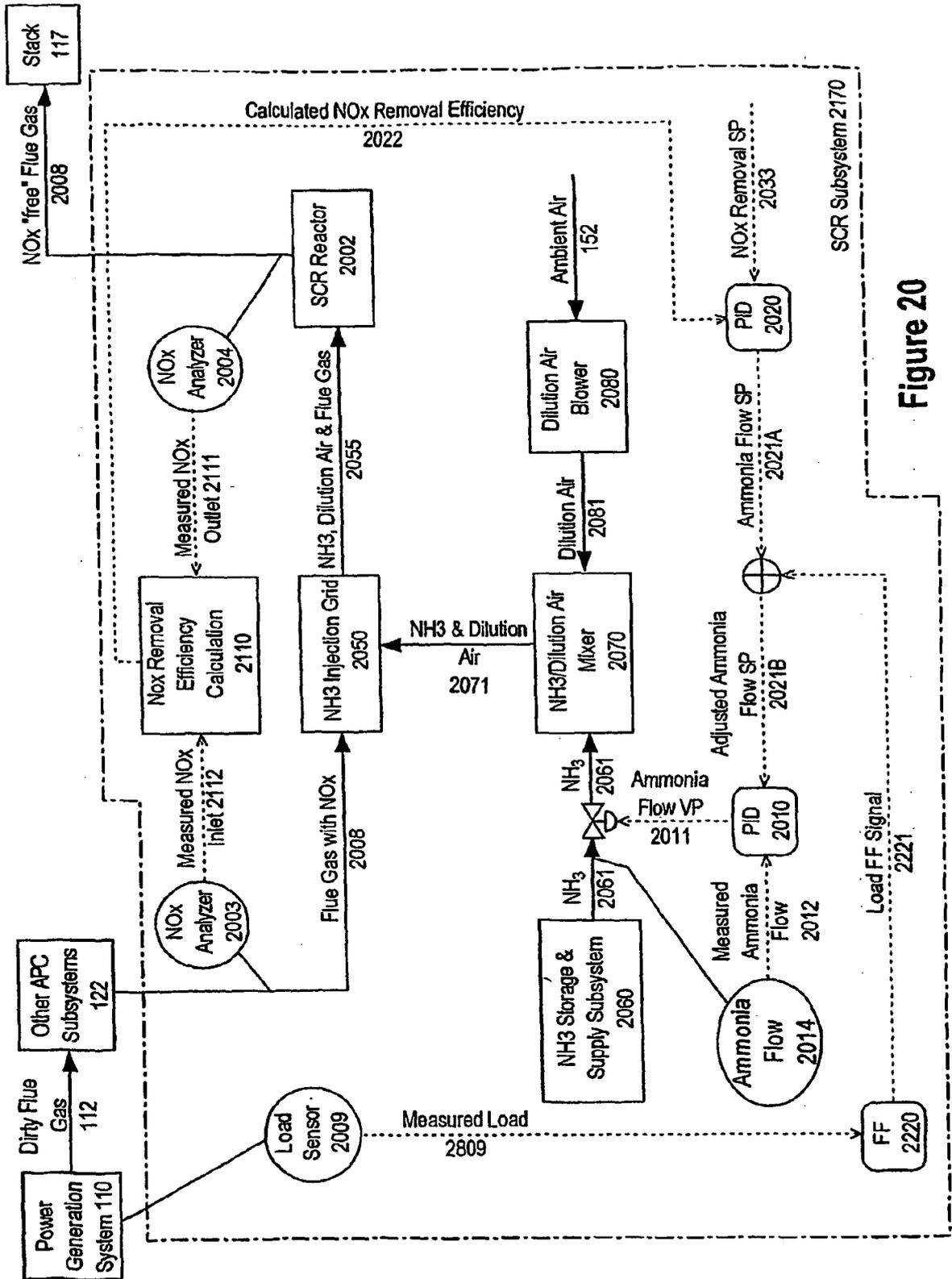


Figure 20

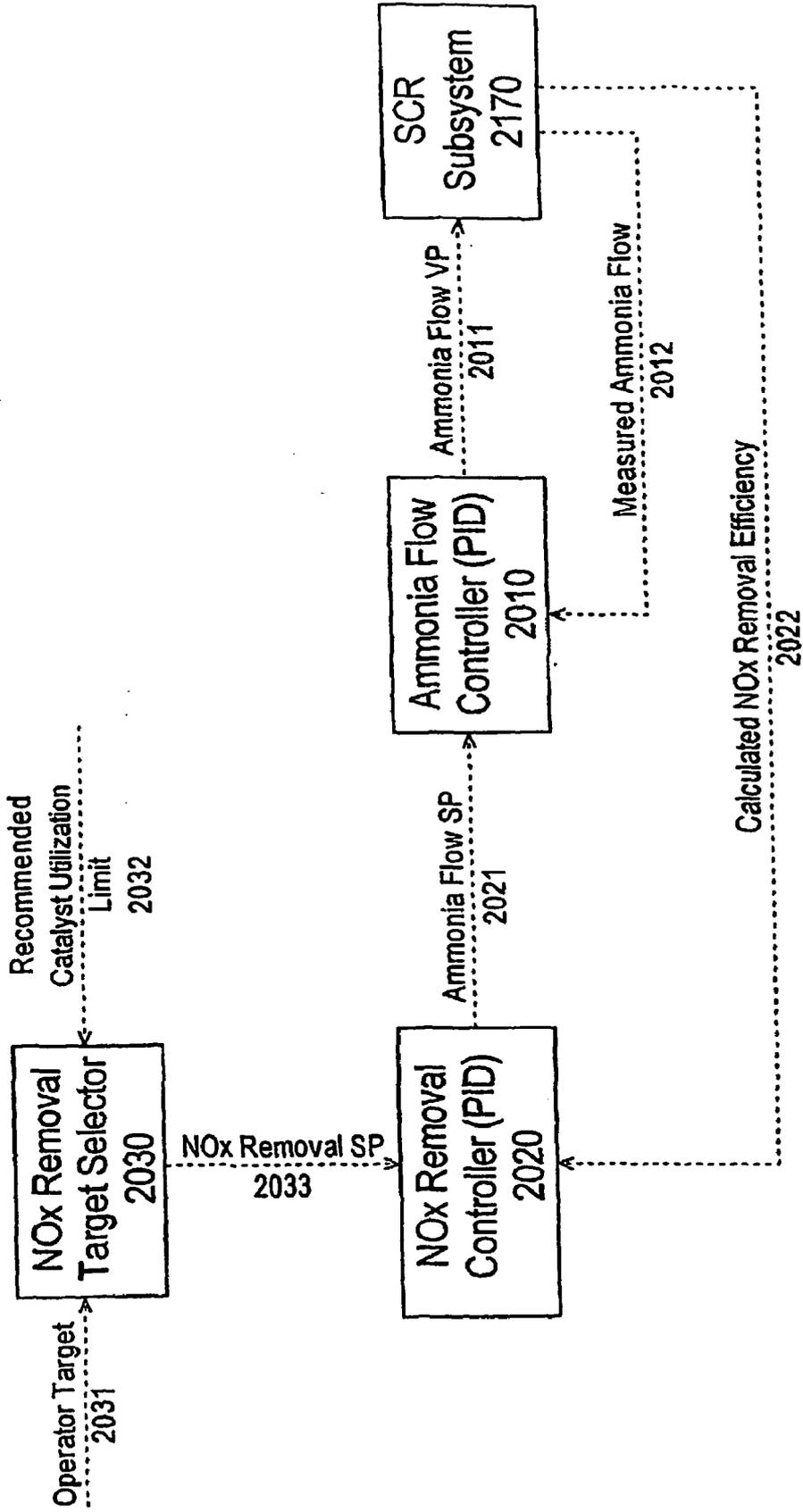


Figure 21

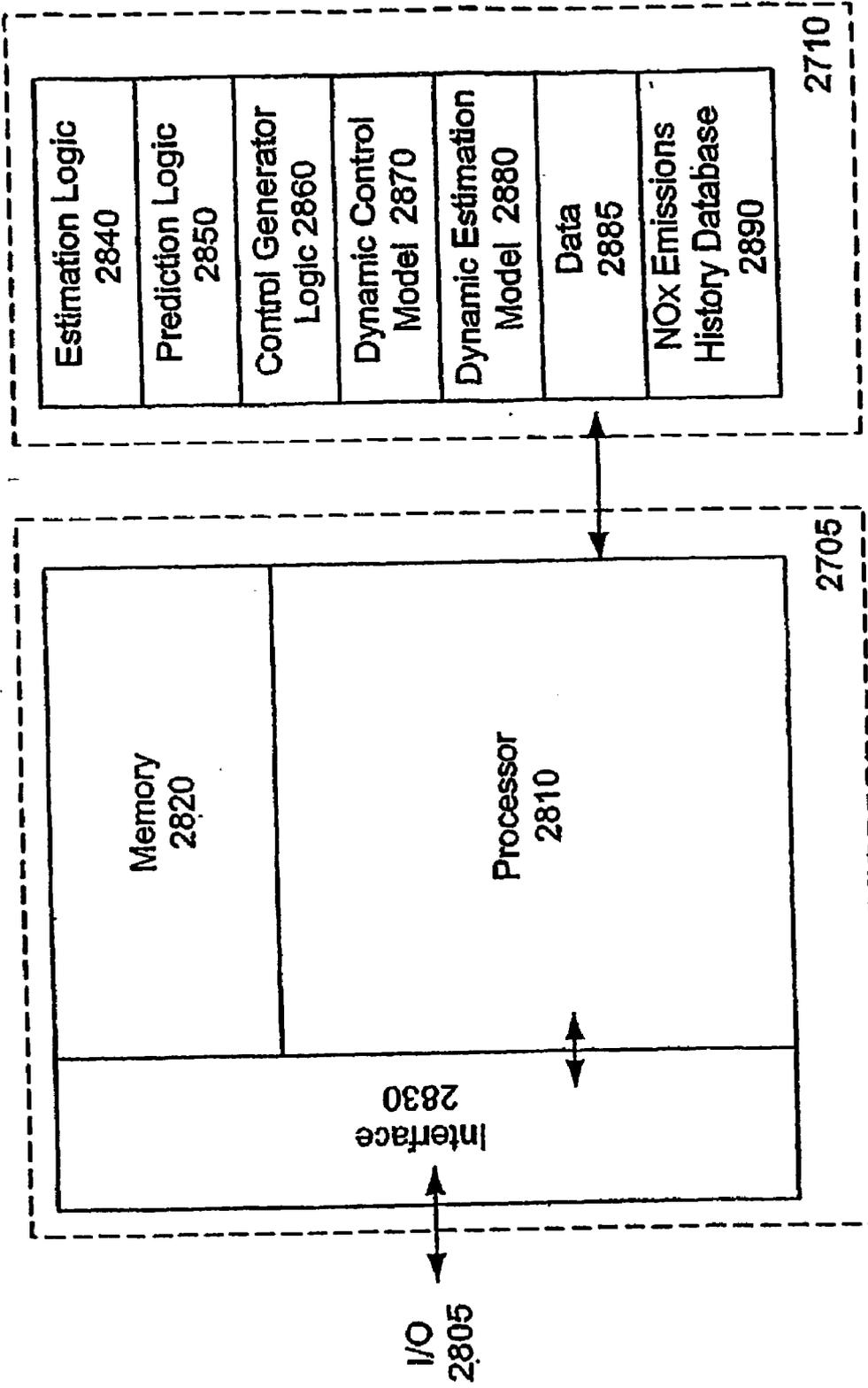


Figure 22

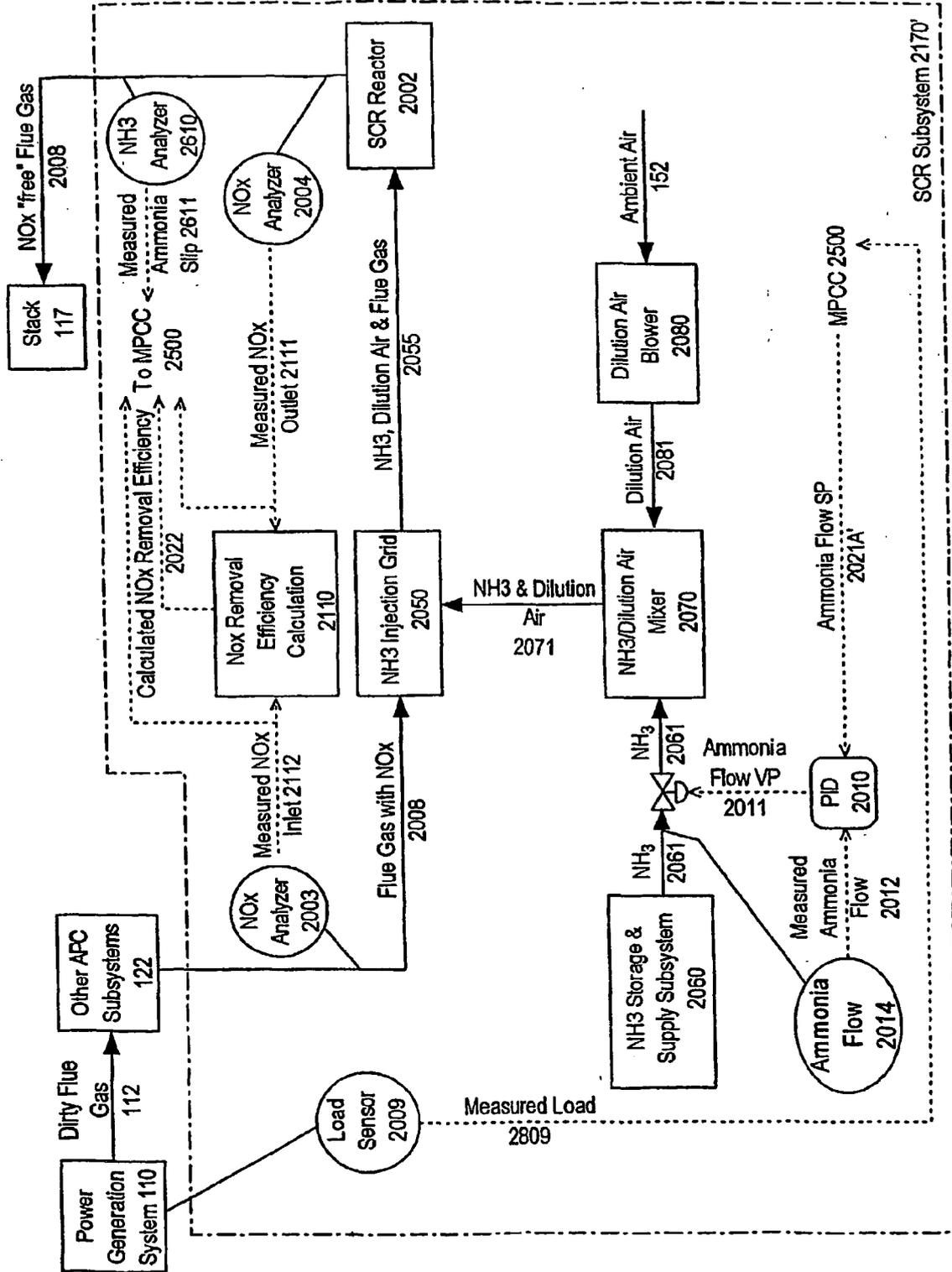


Figure 23A

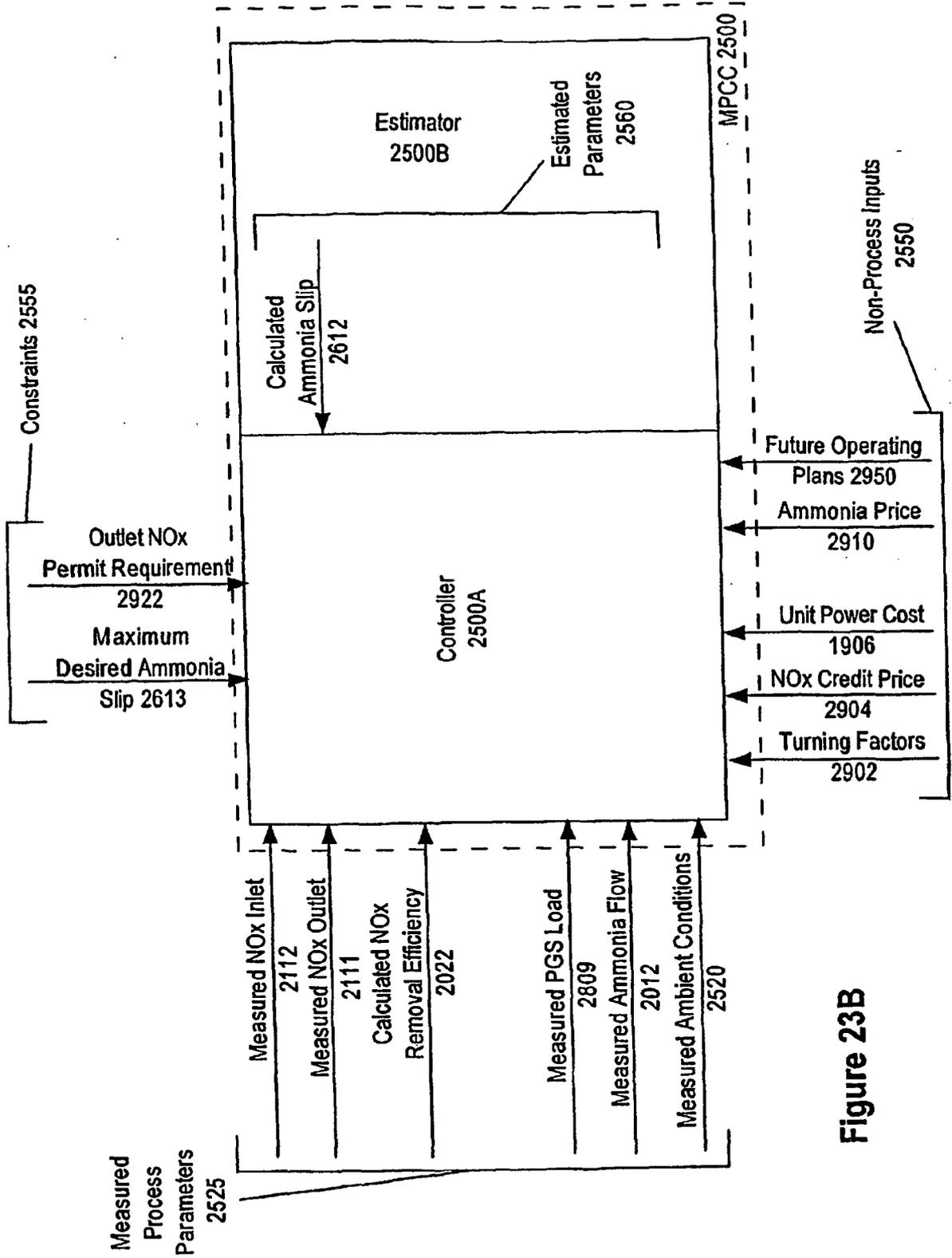


Figure 23B