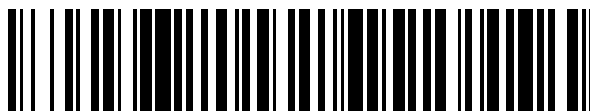


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 290**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/14** (2006.01)

**H02J 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2012 E 12826532 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2015 EP 2721708**

54 Título: **Sistema de gestión de energía automatizado en respuesta a la demanda**

30 Prioridad:

**15.12.2011 US 201113327411**

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

**30.12.2015**

73 Titular/es:

**RESTORE N.V. (100.0%)  
Arthur Matthijslaan 61  
2140 Antwerpen, BE**

72 Inventor/es:

**ROMBOOTS, JAN-WILLEM;  
GHEERARDYN, JOS;  
MERMANS, PIETER-JAN y  
SNIJERS, LUC**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 555 290 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Sistema de gestión de energía automatizado en respuesta a la demanda

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona en general con gestión de energía. Más específicamente, la presente invención se relaciona con técnicas e interfaces para el ajuste óptimo de la demanda de energía, con referencia frecuentemente a una respuesta automatizada a la demanda, para apuntar a las necesidades de balance o gestión de energía.

Antecedentes de la invención

10 La gestión de la energía es buscada a muchos niveles hoy: en el mercado de la electricidad esto varía desde la gestión de energía local en sitios industriales o residencias, a las redes de distribución y a la gestión de energía redes de transmisión; y, en el mercado del gas natural esto varía desde la eficiencia de la energética local en plantas de cogeneración (producción combinada de calor y potencia) a sistemas de transmisión de gas. Hay una necesidad incrementada por técnicas para ajustar mejor la temporización y cantidad de demanda de energía (i) a las necesidades del sistema que transmite y distribuye la energía, así como (ii) a las necesidades de suministro (disponible instantáneamente). Sin embargo, el ajuste de la demanda de energía de una carga tiene que hacerse sin afectar negativamente la operación de la carga o los procesos (tales como, por ejemplo, procesos industriales) que se basan en la operación de la carga.

15 Con respecto a la electricidad, considérese el caso de un almacén frío a nivel local (un almacén en donde se almacenan bienes de consumo tales como alimentos en un estado congelado o helado). Típicamente, la automatización de la instalación está ajustada a las necesidades de los productos que se mantienen en las diversas celdas del almacén frío, esto es, el almacén frío es operado para maximizar la duración del almacenamiento y deterioro mínimo de la calidad de los bienes almacenados, pero el consumo de electricidad no es optimizado en tiempo con respecto a los precios de la electricidad y al equilibrio demanda-suministros general, el consumo de electricidad no está optimizado con respecto a las restricciones en las potencias pico (típicamente, los consumidores de electricidad son penalizados por picos excesivos en sus perfiles de energía), y el consumo de electricidad no está optimizado con respecto a la eficiencia de energía de las máquinas (por ejemplo, el coeficiente de rendimiento de un compresor disminuye cuanto más baja sea la temperatura). Estos problemas son aplicables a casi cualquier consumidor de energía industrial o residencial, si bien con diferentes problemas de eficiencia de energía específicos a nivel de máquina.

20 Al nivel de la red de transmisión y/o al nivel del mercado al por mayor, considérese el caso de un proveedor de electricidad o un operador de un sistema de transmisión que enfrenta problemas de ineficiencia principalmente en el área de los desbalances suministro-demanda. Para el operador de un sistema de transmisión (TSO), estos desbalances son una amenaza a la estabilidad de la red y, en virtud de su mandato, la estabilidad es una meta que debe ser alcanzada por el TSO. Para el proveedor de electricidad, desbalances no previstos entre el suministro de la demanda son penalizados típicamente por el TSO (y, dependiendo del mercado, esto podría ser estructurado en un procedimiento de denominación diario y/o un mercado de penalización intra-día). De acuerdo con lo anterior, no solamente hay una necesidad de una mejor previsión con el fin de generar la cantidad correcta de suministro, sino que también hay una necesidad por una demanda flexible de energía, esto es cargas cuyo consumo de potencia pueda ser direccionado y programado de una manera rápida y confiable de acuerdo con las necesidades de los participantes en el mercado de la energía, para balancear excesos y deficiencias inesperados en la potencia.

25 La figura 1 ilustra un ejemplo de tal desbalance. A las 9 am la producción 2 de potencia excede grandemente la demanda de potencia 4, de acuerdo con lo cual, se produce un exceso de potencia 6 que lleva potencialmente a una inestabilidad en la red o desperdicio. A las 9:15 am, la demanda de potencia 10 excede grandemente la producción 8 de potencia llevando a una demanda 12 en exceso. Una situación similar se encuentra también a las 9:30 am. En estas situaciones el suministro de exceso o la demanda en exceso puede llevar a inestabilidad, uso de recursos ineficientes para generar más potencia y/o un apagón potencial. Estos desbalances suministro-demanda indican que los participantes en el mercado de la energía necesitan un control flexible de la potencia. De la misma manera, los consumidores de potencia típicamente no tienen consumo de potencia flexible, esto es, tal consumo de potencia no puede ser ajustado a las necesidades del mercado de la energía de estos participantes en el mercado de la energía.

30 La figura 2 ilustra un desbalance potencial cuando se utiliza una fuente renovable de energía tal como el viento. A las 9 am, la combinación de la producción 22 de energía eólica y la producción 24 de energía alimentada por gas excede la demanda de potencia 26. Pero, a las 9:15 am, cuando no hay viento, la producción 32 de gas 32 no es adecuada para satisfacer la demanda 34. De acuerdo con lo anterior, la figura 3 ilustra una metodología del arte previo en el cual la planta de gas es apagada y la producción 22 de viento es más que adecuada para satisfacer la

demanda 26. Desde luego, deben pagarse penalidades por el desbalance residual. A las 9:15 am, puesto que no hay producción de viento, la producción 42 de potencia alimentada por gas es encendida para satisfacer la demanda 34 y resulta en ineficiencias porque la producción de energía a partir de quema de gas tiene costos variables más altos y produce emisiones de carbono adicionales que la que se basa en la energía eólica. Además, al apoyarse en una planta de producción extra por quema de gas a una capacidad parcial con el fin de proveer flexibilidad, da como resultado costes de oportunidad e ineficiencia por las pérdidas de calor debidas a la elevación o disminución de la planta, y una eficiencia de energía inferior de la generación misma.

A nivel de la red de distribución local, considérese un área en la red de distribución (específicamente una "rama terminal") en donde hay una muy alta concentración de paneles solares, así como unas pocas industrias significativas. El nivel de producción de energía será determinado por la cantidad de brillo solar en un momento dado. La cantidad de energía demandada por las cargas será dominada por los procesos industriales. Sin optimización, el suministro y la demanda estarán fuera de sincronización a este nivel. En ocasiones, este desbalance producirá un sobresuministro local de energía en la última rama de la red de distribución, la cual será transportada hasta la red de voltaje más alto. Este transporte de energía reduce la eficiencia del sistema global, específicamente a través de pérdidas de calor. Además, la transformación de la energía a un voltaje más alto induce una recarga de los transformadores los cuales típicamente no han sido diseñados para esto. Y, en momentos cuando no hay suficiente producción solar para cubrir la demanda local, la energía necesita ser suministrada desde otros recursos de producción de energía, más lejanos, menos eficientes.

Los ejemplos anteriores de desbalances tienen escalas de tiempo relativamente grandes, esto es, del orden de minutos en vez de segundos. En efecto, a nivel de la red, por ejemplo, la escala de tiempo natural es típicamente 15 minutos desde el momento en que el equilibrio suministro-demanda por carteras de energía es definido a esa escala. Lo mismo sucede para cargas industriales típicas las cuales de nuevo reaccionan en términos de minutos. Debe anotarse, sin embargo, que hay además una necesidad específica de energía que pueda ser desplazada en escalas de tiempo muy cortas. Por ejemplo, para un proveedor de energía con producción y demanda de potencia en su cartera, uno de los retos es reaccionar rápidamente a las plantas de producción que inesperadamente fallan y detienen la producción. Esto puede suceder en un plazo muy corto, y pueden dejar al proveedor de energía con un desbalance de potencia (el lado de la demanda es más grande que el lado del suministro). Idealmente, el proveedor sería capaz de desconectar una cantidad de potencia consumida igual a la producida por la planta en fallo en una escala de tiempo muy corta para evitar interrupciones.

Otro ejemplo de la necesidad de una potencia flexible de respuesta rápida está dado por la energía renovable. A medida que los participantes en el mercado de la energía tienen una cantidad creciente de producción de energía eólica, solar y otras renovables en sus carteras, se enfrentan con una producción de potencia impredecible. Para un proveedor de energía, el efecto de una caída inesperada en el viento es equivalente al corte de una planta de producción. Aquí también, hay una necesidad incrementada de tener la capacidad de compensar a muy corto plazo programando la potencia con respecto al lado de la demanda de su cartera.

La Solicitud de Patente de los Estados Unidos US 2010/0145534 titulada "System and Method for Determining and Utilizing Customer Energy Profiles for Load Control for Individual Structures, Devices and Aggregation of Same" describe un sistema para controlar el uso de energía con el fin de alcanzar ahorros de energía objetivo. El sistema conocido de la US 2010/0145534 crea y hace uso de perfiles de cliente, incluyendo patrones de consumo de energía. Los dispositivos dentro de un punto de servicio, que utilizan el director de carga activo, pueden estar sujetos a eventos de control, frecuentemente basados en preferencias del cliente. Estos eventos de control hacen que el punto de servicio utilice menos potencia.

También hay una necesidad en el mercado del gas natural por un ajuste mejor de la demanda. En un sistema de distribución de gas, por ejemplo, hay una necesidad incrementada por balancear la demanda con el suministro. El suministro en este mercado viene típicamente de embarcadores que se conectan a terminales con almacenamiento disponible, y la demanda viene del consumo de gas natural, residencial e industrial. En oposición a la red de electricidad, mientras que hay una capacidad de almacenamiento significativa en la mayoría de los sistemas distribuidores de gas, hay todavía una necesidad de absorber excesos inesperados de demanda o suministro de gas, pues de otra manera la presión en el sistema de gas no puede ser mantenida a niveles aceptables para la buena operación del sistema. Con el fin de proveer un incentivo a los embarcadores de gas natural activos en su sistema, el operador del Sistema de Transmisión (TSO) penaliza típicamente a los proveedores por los desbalances suministro-demanda. Los desbalances residuales en el sistema son entonces responsabilidad del TSO, y el TSO necesita tener herramientas suficientes disponibles –Tales como almacenamiento y demanda flexible– para absorber estos desbalances. Para los embarcadores de gas natural, es claro que la disponibilidad de una demanda flexible (esto es, un conjunto de cargas de gas cuya demanda pueda ser direccionada) puede ayudarles a ajustar la demanda a su suministro de gas real, y por lo tanto evitar penalizaciones por parte del TSO.

Por lo tanto, en el mercado global de participantes en el mercado de la energía (tanto electricidad como gas) y consumidores (residenciales, comerciales e industriales), hay una necesidad de una gestión de energía incrementada. Una necesidad específica es para la demanda de potencia flexible, esto es, controlar la sobrepotencia de una carga que pueda ser programada de acuerdo con una necesidad para distribuir energía en exceso o reducir la energía.

5

#### Resumen de la invención

Para alcanzar lo anterior, y de acuerdo con el propósito de la presente invención, se divulgan un método y técnicas de gestión de energía que optimizan el ajuste de la demanda de energía, denominados frecuentemente como respuesta automatizada a la demanda, para apuntar a las necesidades de balance o gestión de energía.

10 De acuerdo con un primer aspecto definido por la reivindicación 1, la presente invención se relaciona con un método para maximizar una flexibilidad de potencia de una carga de energía, comprendiendo dicho método:

recibir restricciones de carga que indican condiciones bajo las cuales la carga de energía debería ser operada, no funcionando la carga de energía cuando las restricciones de carga no son satisfechas;

15 recibir un conjunto de parámetros de control y valores posibles que controlen la operación de la carga de energía y afectan el uso de potencia de la carga de energía:

recibir un modelo en ordenador de la carga de energía, generando el modelo la utilización de potencia de la carga de energía en respuesta a cambios en las entradas al modelo;

recibir una función de valor que tiene un término que indica un cambio en el uso de energía como función de los parámetros de control para la carga de energía durante intervalos de tiempo de un período de tiempo;

20 maximizar la función de valor utilizando el modelo de ordenador, las restricciones de carga y los parámetros de control, maximizando la diferencia entre un consumo de energía máximo de la carga de energía permitido dentro de las restricciones de carga y un consumo de energía mínimo de la carga de energía permitido dentro de las restricciones de carga durante los intervalos de tiempo; y

25 generar un subconjunto de los parámetros de control resultante de maximizar la función de valor, siendo capaz el subconjunto de operar la carga de energía entre el consumo de energía máximo y el consumo de energía mínimo dentro de las restricciones de carga a la vez que maximiza el cambio en el uso de energía.

Opcionalmente, como se define por la reivindicación 2, en el método de acuerdo con la presente invención, la carga de energía consume electricidad o gas natural.

30 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 3, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:

entregar una programación de energía a la carga de energía, incluyendo el subconjunto de los parámetros y valores de control con el fin de controlar la carga de energía dentro de las restricciones de carga durante los intervalos de tiempo dentro del período de tiempo

35 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 4, en el método de acuerdo con la presente invención, la programación de energía es dictada por un participante en el mercado de energía externo a y por fuera del control de un propietario de la carga de energía.

Opcionalmente, como se define en la reivindicación 5, en el método de acuerdo con la presente invención, la programación de energía provee energía a la carga de energía entre el consumo de energía máximo y el consumo de energía mínimo.

40 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 6, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:

maximizar la función de valor repitiendo todas las combinaciones del conjunto de parámetros de control utilizando el modelo de ordenador con el fin de producir el cambio en el uso de energía para los intervalos de tiempo.

45 Opcionalmente, tal como se define en la reivindicación 7, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor también incluye un término económico que indica un impacto económico por controlar la carga de energía utilizando un primer conjunto de los parámetros de control.

Opcionalmente, como se define en la reivindicación 8, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:

Maximizar la función de valor tomando un operador de expectativa a lo largo de una distribución de estados de carga permitidos

- 5 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 9, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:

Maximizar la función de valor repitiendo todas las combinaciones de los parámetros de control y maximizando la expresión

$$E [\sum_i \Delta E_i / E_{\text{pico}} - \rho]$$

- 10 en donde E es un operador de expectativa,  $\Delta E_i$  es la diferencia dada en un estado de carga durante un intervalo de tiempo dado  $i^o$ ,  $E_{\text{pico}}$  es un consumo de energía máximo de la carga de energía en un intervalo de tiempo  $i^o$  utilizado para hacer dicha diferencia adimensional, y  $\rho$  es un impacto económico del control de la carga de energía.

- 15 De acuerdo con un segundo aspecto definido por la reivindicación 10, la presente invención se relaciona con un método para maximizar una flexibilidad de potencia de una carga de energía virtual que representa una pluralidad de cargas de energía reales, comprendiendo el método:

- recibir una pluralidad de funciones de valor, representando cada función de valor una de las cargas de energía reales e incluyendo un término que describe la diferencia entre un consumo de energía máximo de la una de las cargas de energía reales permitidas dentro de las restricciones de carga y un consumo de energía mínimo para la una de las cargas de energía reales permitidas dentro de las restricciones de carga sobre una pluralidad de intervalos de tiempo dentro de un período de tiempo;
- 20

recibir un conjunto de restricciones de carga para cada una de las cargas de energía reales, no funcionando cada una de las cargas de energía cuando su conjunto de restricciones de carga no está satisfecho;

recibir un conjunto de parámetros de control y posibles valores para cada una de las cargas de energías reales;

- 25 recibir un modelo de ordenador para cada una de las cargas de energía reales, generando cada modelo de ordenador un uso de potencia de la cada una carga de energía real en respuesta a cambios en entradas a cada modelo;

recibir una función de valor global que representa la carga de energía virtual que incluye las funciones de valor;

- 30 resolver la función de valor global con el fin de maximizar un cambio potencial en el uso de energía a lo largo de los intervalos de tiempo para todas las cargas de energía reales usando los modelos de ordenador, los conjuntos de restricciones de carga y los conjuntos de parámetros de control; y

generar para cada carga de energía real, un porcentaje de un nivel de energía que va a ser suministrado a la carga de energía virtual durante uno de los intervalos de tiempo, siendo dividido el nivel de energía completo entre las cargas de energía reales

- 35 en donde cada conjunto de parámetros de control es capaz de operar la correspondiente carga de energía real entre el consumo de energía máximo y el consumo de energía mínimo de las cargas de energía reales correspondientes. En general, la presente invención implementa un método de demanda-respuesta completamente automático utilizado por los participantes en el mercado de la energía para mitigar el riesgo de sobre o subproducción, y para llevar a cabo intercambios de energía en base diaria o entre días con el fin de balancear (físicamente) su cartera o red. El método optimiza la flexibilidad de sus cargas y tiene una latencia relativamente baja. Inicialmente, la técnica optimiza la flexibilidad de la energía para una o más cargas; cada una de estas cargas está conectada a un sistema de control a través de una red de comunicaciones que permite no solamente la adquisición de datos de cada carga, sino también el control remoto de la carga a través de los parámetros de control de carga. En segundo lugar, todas las cargas (independientemente de ser optimizadas) son agregadas en una carga virtual que por si misma también es optimizada para ser flexible en términos de consumo de potencia. Esta carga virtual puede ser gestionada entonces por un participante en el mercado de la energía; se aplican incrementos o descensos deseados en potencia durante un período de tiempo a la carga virtual. En tercer lugar, la técnica también entrega y programa el control de cada carga individual, esto es, la implementación óptima de incremento o descenso en potencia en la carga virtual
- 40
- 45

- Hay ventajas para un operador de carga en aceptar una reducción en potencia o en aceptar un incremento en energía en el contexto de la presente invención. Si un participante en el mercado de la energía pide a un operador carga que acepte una reducción en potencia (a la vez que se asegura de que la carga opere dentro de sus restricciones), el operador de carga típicamente aceptará tal reducción porque el participante en el mercado de la energía ofrecerá un incentivo financiero (este incentivo es ofrecido por el participante en el mercado de la energía porque la reducción local en el consumo de energía ayuda a los objetivos económicos del participante - debido a los precios de la electricidad en el caso de un proveedor o debido a las necesidades de balance en el caso de un operador de sistema). Por el contrario, un incremento en la potencia típicamente sería aceptado por el operador de carga puesto que permite que el operador compre potencia a una tasa reducida. Considerando el ejemplo de un almacén en frío, el compresor potencialmente podría ser encendido en muchos momentos diferentes durante el día, pero acordando encenderlo cuando sea más útil para un participante en el mercado de la energía, el operador de carga está comprando potencia cuando hay disponible exceso de potencia. Al utilizar el compresor más temprano de lo usual se disminuirá la temperatura del almacén frío, pero todavía dentro de sus restricciones de rango de temperatura.
- Si bien el requerimiento de una programación de respuesta rápida del consumo de energía produce demandas específicas sobre las cargas que están siendo usadas, la presente invención es capaz de abordar estas demandas. Las baterías (por ejemplo, de los ordenadores portátiles) son un ejemplo de cargas que pueden ser programadas en muy corto plazo utilizando la presente invención, mientras que algunas cargas industriales tienen tiempos de respuesta más largos (tiempos de rampa hacia arriba/hacia abajo dados inherentes en las máquinas involucradas) que también pueden ser abordados por la presente invención. Cuando la carga virtual contiene cargas con tiempos de respuesta tanto cortos como largos, el sistema agregado tendrá todavía un tiempo de respuesta efectivo que es mantenido corto debido a que el sistema de control central programará las cargas con primer tiempo de respuesta corto.
- En el contexto de una red inteligente, el arte anterior frecuentemente observa con pasividad los parámetros de control que están disponibles para una carga individual, y luego usa los parámetros para dirigir la energía instantáneamente. En contraste, la presente invención selecciona activamente un conjunto óptimo de parámetros de control que maximizan la flexibilidad de potencia de la carga. Y, a la vez que existen ciertas técnicas de agregación manual de demanda-respuesta, la presente invención mejora las mismas proveyendo una carga individual virtual grande que fácil y automáticamente puede ser programada y controlada utilizando un nivel de energía como su parámetro de control. Además, la interfaz del usuario presenta flexibilidad de energía con respecto a la curva de referencia ya acordada sobre la misma la cual es más familiar para un comerciante de energía.
- El control de demanda de gas tiene ventajas comparables. Para mantener la presión de gas en el sistema de distribución, típicamente se pone en marcha un mecanismo de incentivos. El consumo flexible de gas es capaz de beneficiar de la misma manera que lo hace el consumo de electricidad. Cuando hay un sobresuministro (cuando la presión es demasiado alta), el gas puede ser comprado efectivamente a un precio reducido. Cuando hay un corte, el propietario de la carga recibirá la oferta de una compensación financiera para reducir el consumo de gas.
- En una primera realización, la flexibilidad de energía de una carga de energía es maximizada. La carga está caracterizada por restricciones, parámetros de control y puede ser representada por un modelo de ordenador. Al resolver una función de valor que maximiza la flexibilidad de la energía de la carga a lo largo de diversos intervalos de tiempo se obtiene un subconjunto de parámetros de control que están en mejores condiciones para controlar la carga dentro de sus restricciones a la vez que maximiza su flexibilidad de energía
- En una segunda realización, la flexibilidad de energía de una carga virtual que representa cualquier número de cargas reales es maximizada. Una función de valor global es maximizada incluyendo una función de valor para cada carga individual. La solución genera una función de entrega que provee: un porcentaje de energía para ser asignado a cada carga individual por intervalo de tiempo, un nivel de energía posible que varía con el tiempo dentro de un intervalo de tiempo para cada carga, y parámetros y valores de control. Un término económico de la función de valor global representa el valor de la flexibilidad de energía frente a diferentes tipos de participantes en el mercado de la energía.
- En una tercera realización, un nivel de energía para la carga virtual es distribuido entre cualquier número de cargas de energía reales, con el fin de entregar cargas de energía específicas. A cada carga real se asigna un porcentaje del nivel de energía, y un modelo inverso de la carga se utiliza para determinar los parámetros y valores de control usando este porcentaje de energía. Los parámetros y los valores son suministrados a cada carga y cada carga es controlada a la vez que sigue su conjunto único de restricciones.
- En una cuarta realización, un nivel de energía para una carga virtual en un intervalo de tiempo se distribuye en cargas de energía reales utilizando compensación de energía, con el fin de entregar cargas de energía específicas. La negativa del nivel de energía es distribuida para la carga virtual con intervalos de tiempo diferentes a los

intervalos para los cuales se programa el nivel de energía. Un modelo inverso para cada carga se utiliza para programar el porcentaje de energía para cada carga actual con el fin de producir un conjunto de parámetros y valores de control para cada carga.

- 5 En una quinta realización, una interfaz de usuario despliega la flexibilidad de energía de una carga virtual. Un contorno superior para un intervalo de tiempo determinado de manera que representa la cantidad máxima de energía que puede ser reducida por la carga virtual. Un contorno inferior para el intervalo de tiempo es determinado representando la cantidad máxima de energía que puede ser consumida por la carga virtual. Cada intervalo de tiempo en un período de tiempo dado puede tener sus contornos superior e inferior calculados de la misma manera.
- 10 En una sexta realización, se utiliza una interfaz de usuario para cambiar el consumo de energía de una carga virtual. Un nivel de energía deseado es recibido para un intervalo de tiempo particular. Automáticamente, los contornos superior e inferior para los otros intervalos de tiempo dentro del período de tiempo son recalculados y desplegados. El nivel de energía deseado puede ser distribuido entre cualquier número de cargas reales y estas cargas reales serán entregadas teniendo en cuenta el nivel de energía deseado.
- 15 En una séptima realización, la energía puede ser reprogramada para una carga virtual. Los datos de acceso a la energía son recibidos de las cargas actuales dentro de la carga virtual y se hace un estimativo del consumo de energía total dentro del intervalo de tiempo actual. Si hay una diferencia significativa entre la energía programada y la energía que está siendo usada, entonces la programación de energía puede ser recalculada. Puede distribuirse una nueva programación de energía entre las cargas actuales utilizando un nuevo valor de energía para el intervalo de tiempo actual. Adicionalmente, uno o más de los modelos carga será actualizado con información más a la fecha, y la inversa de cada uno de estos modelos locales se utiliza para introducir un nivel de energía para cada carga y parámetros y valores de control de salida apropiados para controlar la carga dentro de sus restricciones.
- 20 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 11, en el método de acuerdo con la presente invención, las cargas de energía reales consumen electricidad o gas natural.
- 25 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 12, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:  
Distribuir dicho nivel de energía a lo largo de la carga de energía virtual programando los porcentajes del nivel de energía con respecto a las cargas de energía reales;  
operar cada una de las cargas de energía actuales durante uno de los intervalos de tiempo utilizando el porcentaje del nivel de energía
- 30 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 13, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor global también incluye un término económico que representa el valor de la flexibilidad de energía de la carga de energía virtual hasta un participante en el mercado de la energía que es externo y que controla desde fuera los propietarios de las cargas de energía reales.
- 35 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 14, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor global incluye también un término económico que es una función decreciente con respecto a un tiempo de respuesta necesario para programar la carga de energía virtual.
- 40 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 15, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor global incluye también un término económico que representa una cantidad de utilización de energía de la carga de energía virtual que puede ser desplazada desde un primer intervalo de tiempo en el cual la energía es más costosa hasta un segundo intervalo de tiempo en el cual la energía es menos costosa.
- Opcionalmente, como lo define la reivindicación 16, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor global también incluye un término económico que representa una negativa de volatilidad de la utilización de energía de la carga de energía virtual con respecto a los intervalos de tiempo, en donde cuánto mayor sea la volatilidad menor es el valor de la función de valor global.
- 45 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 17, en el método de acuerdo con la presente invención, la función de valor global incluye también un término económico que incluye una pluralidad de valores económicos cada uno de un participante diferente del mercado de la energía.
- Opcionalmente, como se define en la reivindicación 18, el método de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente:

Maximizar cada una de las funciones de valor buscando a través de todos los posibles valores de parámetro y maximizando la expresión.

$$E [\sum_i \Delta E_i / E_{pico} - \rho]$$

5 En donde E es un operador en expectativa,  $\Delta E_i$  es dicha cada una diferencia con un estado de carga virtual durante un intervalo de tiempo  $i^o$ ,  $E_{pico}$  es un consumo de energía máximo de cada carga de energía en un intervalo de tiempo  $i^o$  utilizado para hacer la diferencia adimensional, y  $\rho$  es un impacto económico de controlar cada una de las cargas de energía.

Opcionalmente, como se define en la reivindicación 19, en el método de acuerdo con la presente invención, las cargas de energía reales están en localizaciones distribuidas geográficamente y tienen diferentes propietarios.

10 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 20, en el método de acuerdo con la presente invención, los niveles de energía son dictados por un participante en el mercado de la energía externo y un control exterior de los propietarios de las cargas de energía reales.

15 Opcionalmente, como se define en la reivindicación 21, en el método de acuerdo con la presente invención, el porcentaje de un nivel de energía para cada carga de energía actual está entre el consumo de energía máximo y el consumo de energía mínimo de cada carga de energía real.

Breve descripción de los dibujos.

La invención, junto con ventajas adicionales de la misma, puede ser entendida por referencia a la siguiente descripción tomada en conjunción con los dibujos acompañantes en los cuales:

La Figura 1 ilustra un ejemplo de un desbalance suministro-demanda.

20 La figura 2 ilustra un desbalance potencial cuando se usa una fuente renovable de energía tal como viento.

La figura 3 ilustra una metodología del arte anterior en la cual la planta de gas es desconectada y la producción de viento es más que adecuada para satisfacer la demanda.

Las figuras 4A-C ilustran cómo la presente invención aborda generalmente problemas con el arte previo.

25 La figura 5 ilustra el uso de la presente invención cuando está involucrada una fuente de energía renovable tal como viento.

La figura 6 ilustra un sistema de gestión de energía de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 7 es un diagrama de bloque que ilustra una realización de una red de comunicaciones utilizada para implementar el sistema de gestión de energía

30 La figura 8 es un diagrama de bloques de un almacén en frío el cual será usado como un ejemplo de la carga eléctrica usada con la presente invención.

La figura 9 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual se maximiza la flexibilidad de energía de una carga particular.

La figura 10 es un diagrama de flujo que describe una realización la cual se programa la energía para una carga individual.

35 La figura 11 ilustra cuántos recursos (R), o cargas, pueden ser agregados en carga virtual individual.

La figura 12 es un diagrama de flujo que describe cómo las cargas son agregadas a una carga virtual.

La figura 13 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual la energía agregada puede ser programada para cargas individuales a través de una carga virtual.

La figura 14 ilustra una curva de referencia de ejemplo para una carga virtual particular.

40 La figura 15 ilustra una tabla de flexibilidad creada por la presente invención después de la recepción de la curva de referencia para la carga virtual.



- La figura 16A ilustra la misma tabla de flexibilidad después de que un comerciante en energía ha ejecutado una transacción.
- La figura 16B ilustra gráficamente la fila de flexibilidad de la figura 16A.
- 5 La figura 17A ilustra una tabla de flexibilidad usada por un participante en el mercado de la energía o un comerciante en energía para hacer transacciones de energía utilizando la presente invención.
- La figura 17B es una representación gráfica de las transacciones y compensación de la figura 17A.
- La figura 18 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual se determinan las condiciones de contorno para la tabla de flexibilidad.
- 10 La figura 19 es un diagrama de flujo que describe una realización de actualizaciones automáticas que se presentan a la interfaz del usuario y cómo la energía es programada cuando se ejecuta una transacción.
- La figura 20 implementa la etapa 712 de la Figura 19.
- La figura 21 implementa la etapa 716 de la Figura 19.
- La figura 22 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual se presenta una reprogramación dentro del sistema de gestión de energía.
- 15 La figura 23 es un diagrama de bloque de un sistema de control local de ejemplo.
- La figura 24 ilustra un sistema de gestión de energía de ejemplo para uso con dispositivos conectados a internet.
- La figura 25 ilustra un ejemplo de una carga de gas natural que puede tener su flexibilidad de demanda de gas gestionada utilizando técnicas del sistema de gestión de energía discutido más arriba.
- 20 Las figuras 26A y 26B ilustran un sistema de ordenador adecuado para implementar realizaciones de la presente invención.
- Descripción detallada de la invención
- Como se mencionó más arriba, la presente invención es aplicable a la energía entregada a través de una red de distribución permitiendo una distribución continua. Esto incluye energía suministrada a través de electricidad, petróleo, agua o gas natural. Como es sabido, otros tipos de gas incluyen gases creados sintéticamente tales como gases urbanos, y otros gases de origen natural tales como biogás. Tal como se utilizan aquí, los términos gas natural y gas incluyen estos tipos diferentes de gas.
- 25
- Visión general y ventajas
- Las figuras 4A-C ilustran cómo la presente invención generalmente aborda problemas con el arte previo. La figura 4A ilustra el escenario de la figura 1 en el cual hay un exceso de energía 52 sobre la red a las 9 am, y una caída de energía 54 y 56 a las 9:15 am y 9:30 am. La figura 4B ilustra cómo la presente invención utiliza cargas flexibles para abordar el problema ilustrado en la Figura 4A. Cualquier número de cargas 57-59 han sido hechas flexibles y han sido agregadas a una carga virtual individual utilizando técnicas de la presente invención.
- 30
- La carga 57 tiene un consumo 60 de energía previsto, pero es capaz de absorber y usar energía 62 en exceso utilizando la presente invención. De la misma manera, la carga 58 es capaz de utilizar energía 72 de exceso a las 9 am, aunque haya presupuestado solamente una demanda para la energía 70. A las 9:15 am la carga 57 es capaz de satisfacer suficientemente sus necesidades con un consumo 64 de energía reducido usando la presente invención, aunque haya presupuestado un consumo de energía igual a la combinación de 64 y 66. De manera similar, la carga 58 tiene su consumo de energía reducido a las 9:15 am de un total igual a la combinación de 74 y 76 hasta un consumo de energía real de 74. A las 9:30 am, la demanda 68 de energía de la carga 57 es satisfecha adecuadamente por la energía suministrada y no es necesario reducir su consumo de energía aunque hay una caída de energía. La carga 58 a las 9:30 am, sin embargo, tiene su consumo de energía reducido a una energía 78 total en vez de utilizar la combinación de energía total prevista de 78 y 79. Desde luego, cualquier número de otras cargas 59 puede tener su consumo de energía ajustado a lo largo del día usando la invención. De acuerdo con lo anterior, la figura 4C muestra un resultado del uso de la presente invención en el cual la producción 82-84 de energía a lo largo del día para estas cargas es equivalente a la demanda 86-88 de energía en cada intervalo de tiempo de ese periodo de tiempo. Ventajosamente, la energía puede ser ajustada hacia arriba o hacia abajo para cada carga si
- 35
- 40
- 45

bien permite que cada carga individual opere dentro de sus restricciones y satisfaga las necesidades de su operador.

5 La figura 5 ilustra el uso de la presente invención cuando una fuente de energía renovable tal como viento está involucrada. Al mejorar la técnica del arte previo de la figura 2 a las 9 am, la demanda de energía 94 usando cualquier número de cargas se eleva para satisfacer el suministro 92 incrementado cuando el viento produce energía en exceso. Por el contrario, a las 9:15 am la demanda de energía 98 entre cualquier número de cargas disminuye para satisfacer el suministro 96 reducido cuando se produce menos energía eólica. Ventajosamente, todas las cargas involucradas no son solamente capaces de utilizar de manera óptima más energía que la prevista (o usar menos energía que la prevista), sino que también son capaces de operar dentro de cada uno de sus conjuntos de restricciones cuando es necesario que su demanda sea reducida o incrementada.

10 La presente invención también puede ser aplicada a gas natural de una manera similar. El consumo de gas se hace flexible utilizando los mismos métodos aplicados a diferentes parámetros de control y restricciones del usuario. Se agregan cargas diferentes a una carga virtual y la flexibilidad resultante es gestionada de la misma manera como se ha hecho con la electricidad.

15 Sistema de gestión de energía

La figura 6 ilustra un sistema 100 para gestión de energía de acuerdo con una realización de la invención. Ventajosamente, la presente invención provee a cualquiera de un cierto número de participantes en el mercado de la energía acceso a energía flexible agregada a través de sistemas, métodos e interfaces de usuario innovadores. Aunque la presente invención será descrita primariamente con respecto a electricidad como fuente de energía, la presente invención también es aplicable al uso de gas natural como una fuente de energía.

20 Se muestra una red 104 de transmisión típica que transmite electricidad a lo largo de grandes distancias. Una instalación 106 de energía produce electricidad a través de medios tales como plantas de quema de carbón, plantas nucleares, plantas de quema de petróleo, plantas de gas natural, etc., y puede también utilizar fuentes renovables tales como generadas por viento, biomasa, solar, hidroeléctrica, olas o mareas, etc. Tradicionalmente, una compañía de servicios producirá una energía de suministro, aunque ahora un productor de energía podría producir energía pero no suministrarla, mientras que un proveedor de energía suministra electricidad a los consumidores pero podría no producirla. Tal proveedor de energía puede o puede no tener instalaciones de producción en sí mismas, y típicamente es activo como un comerciante en energía, comprando y vendiendo energía dependiendo de las condiciones del mercado y los cambios de la cartera. Todos estos servicios productores y proveedores generalmente están abarcados utilizando la referencia 106.

25 La red de transmisión está conectada a una red 112 de distribución local que suministra la energía a consumidores residenciales, de negocios e industriales de electricidad. Además de las instalaciones y las redes, los operadores del sistema también tienen una mano en el suministro de energía. El operador 108 de un sistema de transmisión (TSO) mantiene la estabilidad de la parte a alto voltaje de la red de transmisión, mientras que un operador 114 del sistema de distribución (DSO) mantiene la estabilidad de la red 112 de distribución a bajo voltaje. Otra entidad es un individuo (o función) en un proveedor de energía denominado un balanceador 116 que busca mantener el balance tanto en el suministro de energía como la demanda de energía para evitar ineficiencias y para evitar sanciones impuestas por el TSO. Una entidad similar es un comerciante 116, también al lado del proveedor, que hace transacciones con energía con otros participantes en el mercado de la energía. Todas estas entidades que colectivamente manejan la energía -productores, proveedores, instalaciones, operadores, balanceadores y comerciantes- son denominados colectivamente como "participantes en el mercado de la energía".

30 Como será explicado en mayor detalle más adelante, cada uno de estos participantes tiene acceso a una interfaz 120 de usuario innovadora (respaldada por ordenadores servidores, métodos innovadores, hardware de comunicación y control) que permite que cada participante en el mercado de la energía no solamente visualice la flexibilidad de energía del sistema de gestión de energía global, sino que también ejerza control remoto en tiempo real sobre cualquier número de cargas según cambien las condiciones.

35 La figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra una realización de una red 140 de comunicaciones usada para implementar el sistema 100 de gestión de energía. Se muestra un ordenador 150 conectado con internet a un sistema 160 de control central que tiene una interfaz 120 de usuario referida en la figura 6. El ordenador es cualquier ordenador adecuado (tal como un ordenador portátil o un ordenador de mesa) utilizado por un participante en el mercado de la energía para tener acceso a una aplicación en la Red que corre sobre un sistema 160 de control. El participante en el mercado de la energía utiliza la aplicación en la Red para gestionar la energía (por ejemplo, balanceando el suministro y la demanda) y para hacer transacciones como se ha discutido más abajo. Cuando se implementa como una aplicación en la Red, no se requiere instalar software extra en el ordenador 150, aunque es

posible implementar el software descrito en el sistema 160 de control también en un ordenador 150 (o en cualquier número de ordenadores).

5 El sistema 160 de control incluye servidores 164 para el ordenador y una base de datos 168 y preferiblemente está basado en la nube, aunque se contemplan otros esquemas tales como servidores en un centro de datos colocalizado, infraestructura de servidor dedicada u ordenadores personales. En una realización, un servidor (o servidores) de ordenador en interfaz: gestiona la red 140 y provee una interfaz a los ordenadores 150 y a las cargas 180-184; comunica con las cargas; recolecta todos los datos de negocio (datos de Red, datos de clientes y especificaciones de cargas y usuarios); recolecta datos de ingreso de estado usados para reconocimiento de patrones, predicción y otros ajustes de parámetro; y en general provee un extremo frontal al control del sistema. Los datos pueden ser almacenados dentro de una base de datos (o bases de datos) 168. Un servidor (o servidores) de ordenador para algoritmos ejecuta los algoritmos y técnicas descritas aquí y está en comunicación con el servidor de la interfaz. La aplicación en la Red opera sobre el servidor de interfaz.

15 El sistema 160 de control tiene una conexión segura a una Red 170 de comunicaciones la cual comunica con todas las diversas cargas gestionadas por el sistema de gestión de energía. En una realización, los servidores en estas localizaciones están conectados de manera segura a través de IPsec VPNs a una Red privada inalámbrica y a una VPN privada utilizando cable de fibra, lo cual permite el acoplamiento de sistemas de control locales y cargas que tienen conectividad en internet, utilizando sistema inalámbrico o conectándose directamente a la Red de cables de fibra privada. En los sitios de fábricas o negocios que ofrecen flexibilidad de sus cargas, se instala un amortiguador para gestionar la transferencia de datos entre los servidores (164) y los sistemas de control locales de las cargas.

#### 20 Ejemplos de cargas

La Figura 8 es un diagrama de bloques de un almacén 200 frío que puede ser utilizado como ejemplo de una carga eléctrica usada con la presente invención. Desde luego, la presente invención es aplicable a cualquier tipo de carga de energía que tenga parámetros de control que puedan ser controlados electrónicamente y no se limita a los ejemplos presentados aquí. El almacén en frío incluye un condensador 204, un compresor 208, un recipiente 212 a presión, y cualquier número de evaporadores 222 presentes dentro de una celda 220 de congelador profundo individual. Más de una celda puede estar presente dentro de un almacén frío dado, y un almacén frío puede tener diferentes configuraciones o componentes. Tal como es sabido en el sector, un almacén en frío utiliza electricidad para mantener congelada o helada una variedad de productos y no necesariamente requiere que su compresor esté en potencia máxima constantemente. El almacén en frío tiene restricciones sobre su operación (tales como temperatura máxima) y tiene diversos parámetros de control que controlan su operación; como tal, este es un ejemplo de una carga eléctrica que puede beneficiarse de las técnicas de la presente invención. En algunas realizaciones, el sistema 160 de control se comunica con el almacén 200 en frío (por ejemplo, entregando parámetros y valores de control para implementar una programación de energía) a través de un sistema de control local utilizando un ordenador 230, por ejemplo.

35 Otros ejemplos de cargas eléctricas que pueden beneficiarse del uso de la presente invención son ordenadores portátiles, hornos industriales y otras cargas térmicas, ordenadores, centros de datos, plantas hidroeléctricas con almacenamiento bombeado, electrólisis industrial, equipo agrícola, HVAC, equipos para manejo de materiales, sistemas de bombeo de petróleo y gas, cervecerías y otros sitios de manufactura. En general, una carga eléctrica es adecuada para uso con la presente invención, en tanto la carga esté conectada a la red de electricidad, y bien tenga un sistema de control unido a ella, o pueda ser conectada a un sistema de control. En general, una carga de gas es adecuada para uso con la presente invención en tanto la carga esté conectada a la red de gas, y en tanto tenga un sistema de control local unido a ella, o pueda conectarse a un sistema de control local.

#### Maximización de la flexibilidad de una carga

45 La figura 9 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual la flexibilidad de energía de una carga particular es maximizada. Este método describe cómo el uso de energía de una carga particular es programado hacia un período de tiempo futuro (tal como el día siguiente) de manera que pueda ser flexible al máximo y por lo tanto presentarse a un participante en el mercado de la energía que desee tener flexibilidad para programar energía durante ese período de tiempo. De manera ventajosa, cualquier cambio en la energía programada permitirá todavía que la carga opere dentro de sus restricciones.

50 En la etapa 404 las restricciones de carga para la carga en particular en cuestión son determinadas; estas restricciones incluyen tanto restricciones de carga del fabricante, como restricciones de carga del usuario. Las restricciones del fabricante incluyen restricciones de operaciones restricciones de hardware impuestas sobre aquellos elementos físicos de la carga que típicamente harían que la carga fallara o no funcionara si las restricciones del fabricante no son satisfechas. Por ejemplo, un almacén frío tiene un voltaje externo/corriente/energía que no debe ser excedido, una capacidad de compresor, y una restricción de que el compresor no debería ser encendido y

apagado demasiado frecuentemente. Estas restricciones del fabricante pueden ser determinadas mediante un análisis de la carga particular en cuestión, su rendimiento histórico y los documentos de usuario e instalación asociados con la carga. Las restricciones del usuario incluyen aquellas restricciones impuestas típicamente por el operador de la carga y que pueden ser únicas para la carga o para su propósito actual, tal como condiciones de contorno. Por ejemplo, un operador de un almacén frío impondrá un rango de temperatura sobre ciertos tipos de bienes excepto dentro del almacén frío, y puede tener una restricción relacionada con un suministro esperado de nuevos bienes.

Para un ordenador portátil conectado a la red, con un sistema de control local que puede desconectar el ordenador portátil de la red cuando sea conectado (y luego funcionar con su batería), las restricciones del usuario son, por ejemplo, que el usuario quiere un rendimiento igual del ordenador portátil durante la desconexión, implicando que la desconexión no puede ser más larga de la permitida por el estado de carga de la batería en el momento de la desconexión.

En la etapa 408 se determinan los parámetros de control de la carga y sus posibles valores. Los parámetros de control incluyen cualquier aspecto de la carga que pueda ser controlado, y dependen típicamente del sistema de control utilizado por la carga. El cambio de los parámetros de control (o mejor, sus valores) afectará típicamente la operación de la carga, puede cambiar su funcionalidad para mejorar o empeorar (dependiendo del propósito de la carga), y puede cambiar la energía utilizada para la carga. Para un almacén frío, sus parámetros de control incluyen la posición de la válvula de cada evaporador (si sus válvulas están o no abiertas o cerradas), el nivel de capacidad del compresor (a cuál porcentaje de su capacidad máxima está operando), una temperatura mínima o máxima (celda), la velocidad del ventilador del evaporador, etc. El conjunto resultante de parámetros de control incluye cualquier subconjunto posible de parámetros de control y sus valores.

En la etapa 412 se determina cualquier restricción suave para la carga. Las restricciones suaves son típicamente aquellas restricciones que no necesitan ser obedecidas necesariamente, deberían ser seguidas por razones particulares, usualmente debido a un impacto económico de la carga. En el ejemplo del almacén frío, las restricciones suaves incluyen límites en el impacto del tiempo de vida esperado de un componente tal como el compresor, límites en el impacto del desgaste esperado de un componente en particular, y límites sobre el coeficiente de rendimiento del compresor (el cual disminuye a temperaturas más bajas). Por ejemplo, la conmutación del compresor del resto a cualquier nivel de energía disminuye su tiempo de vida. Por lo tanto, una restricción suave posible podría ser un límite en el número de veces que el compresor pueda ser apagado al día. Estas restricciones suaves son introducidas en la función de valor descrita más abajo a través del uso de términos de penalización que penalizan la función de valor cuando ciertos parámetros de control se utilizan de manera tal que afectan estas restricciones suaves. Ejemplos de restricciones suaves para un ordenador de mesa incluyen el impacto del tiempo de vida de la batería al encender y apagar el ordenador frecuentemente, valor que el usuario asigna para tener una batería completa cuando desconecta su ordenador portátil, etc.

En la etapa 414 se crea un modelo para la carga y se produce también el modelo inverso. El modelo provee la descripción matemática de la dinámica del sistema de carga y es implementado a través de un programa de ordenador. En este caso, el modelo implementado evita la dinámica de la carga, en este ejemplo, un almacén frío. El modelo tiene en cuenta todas las restricciones planteadas sobre la carga y utiliza como entrada los parámetros de control y sus posibles valores. El modelo ayuda a responder la pregunta básica, "cuando se cambia un valor de un parámetro de control, ¿Cómo afecta eso la energía usada por la carga?". Por ejemplo, si las válvulas en los evaporadores están cerradas dentro de la celda, ¿Cómo afecta ese cambio la demanda de energía del almacén frío? Pueden crearse modelos en diversas maneras como las conocidas por los experimentados en el arte. Una técnica es basarse en datos históricos de la carga desarrollar una "caja negra" que toma el control de los parámetros según van entrando y produce la energía requerida como salida (usando, por ejemplo, autoaprendizaje tal como técnicas de red neural). Tal modelo de caja negra puede ser utilizado típicamente para diferentes tipos de carga. Otro técnica que puede ser utilizada es observar la física básica de la carga, esto es, los primeros principios, y desarrollar formulas utilizando ecuaciones diferenciales (por ejemplo que pueden ser resueltas para producir la generación del modelo). Típicamente, tal modelo necesita ser calibrado con base en datos observados del mundo real con el fin de asegurar su exactitud. Tal modelo que es construido a partir de principios básicos es muy dependiente de la carga. Típicamente el modelo de ordenador se crea manualmente. La implementación es en un software y el ajuste del parámetro del modelo es tal que puede ser ejecutado automáticamente.

Una vez creado, el modelo es diseñado para tener en cuenta todas las restricciones de la carga, el estado actual de la carga y para aceptar como ingreso cualquier parámetro de control y sus valores. En general, la generación del modelo describe como el estado del sistema cambia con el tiempo y sus requerimientos de energía a intervalos de tiempo particulares. En el caso de un almacén frío, los datos generados pueden ser la temperatura resultante del almacén frío y la cantidad de energía necesaria durante ese intervalo de tiempo. En el uso práctico, esta generación es simplemente los cambios en energía necesarios para ir de estado a estado. Por ejemplo, si un almacén frío está operando en un rango de temperatura de -10 a -15 y se desea disminuir la temperatura a -17, el modelo dirá cuánta

más energía es requerida para hacer disminuir la temperatura. De acuerdo con lo anterior, cuando se maximiza la función de valor como se describe más adelante el modelo será usado para proveer los niveles de energía mínimo y máximo (y así el cambio en energías) requeridos en un intervalo de tiempo dado. Hablando estrictamente, el modelo será usado típicamente en el cálculo de cada término de la función de valor.

5 También se produce un modelo inverso con base en el modelo de carga y los experimentados en la técnica entenderán cómo se produce un modelo inverso. Básicamente cuando se suministra un nivel de energía particular a una carga el modelo inverso generará los parámetros de control que tendrán valores que no solamente utilizaran el nivel de energía sino también continuarán satisfaciendo las restricciones de la carga. A menos que se mencione explícitamente, se usará el nivel de energía y el nivel de potencia de manera intercambiable, bajo la suposición de un nivel de energía constante en una unidad de tiempo dada. Es claro que la equivalencia de potencia y energía se asegura en cualquier intervalo de tiempo infinitesimal. Por lo tanto, el modelo inverso también puede ser utilizado para mapear cualquier nivel de potencia para controlar elementos. Preferiblemente, los niveles de energía a lo largo de los intervalos de tiempo de un periodo de tiempo completo se suministran a la carga, por ejemplo un periodo de un día. Este modelo inverso puede ser creado a partir del modelo de carga en una variedad de maneras. La forma más directa es utilizar solución de raíces para generar un conjunto de parámetros de control que generarán el nivel de consumo de energía requerido dada las restricciones de corriente. Cuando el modelo es suficientemente simple, una segunda posibilidad sería expresar el modelo inverso en forma analítica cerrada.

20 Cuando el modelo inverso es utilizado por el sistema de control central para programar la potencia, se mapeará un nivel de energía particular en un intervalo de tiempo particular para controlar los parámetros y los valores particulares mediante el modelo inverso. El dominio del modelo inverso puede ser restringido para usar solamente aquellos parámetros de control óptimos (descritos más adelante) mejor que cualquiera de los parámetros de control disponibles. Nótese también que el uso del modelo inverso no genera un resultado único puesto que en general un nivel de energía dado puede ser consumido utilizando una variedad de programaciones de parámetros de control. Hay que anotar que la parte global de la función de valor (esto es, el termino económico, restricciones globales, etc.) introduce interacción entre las cargas. Esta interacción elimina la no unicidad.

30 En la etapa 416 se determina la distribución de posibles estados de carga. El estado de carga de una carga particular indica la condición o condiciones particulares en las cuales la carga es operada típicamente. En el ejemplo del almacén frío, su estado puede ser indicado por su temperatura interna. O, su estado puede ser indicado por una combinación de condiciones tales como su temperatura interna, la temperatura externa, y el estado de cualquiera de sus componentes. Desde luego, estados diferentes a la temperatura interna también pueden ser usados para un almacén frío tales como niveles de líquido en los vasos de presión, posición de la válvula del evaporador, consumo de potencia del compresor, temperatura externa, temperatura en el evaporador, etc. Los estados de distribución de carga pueden ser determinados históricamente, por ejemplo, observando los estados de la carga para el año anterior. Los valores históricos producirán un histograma el cual indica la distribución de posibles estados de carga. 35 En la ausencia de datos históricos, las distribuciones del estado de carga serán creadas a priori imponiendo una distribución sobre el dominio de los estados de carga permitidos.

40 Para un ordenador portátil, el estado de carga puede incluir el estado de carga de la batería, la cantidad de tiempo de CPU usada y el tiempo de recorrido remanente estimado de uno o más procesos finitos (tales como recuperación de memoria, instalación, etc.), que se ejecutan en el ordenador portátil. En el caso en donde la carga es una construcción grande con un sistema de gestión de la construcción para controlar su consumo de energía, el estado de carga puede incluir temperaturas internas por habitación, temperatura externa, estado de la iluminación, velocidad del ventilador de aire acondicionado y punto de fijación de la temperatura acondicionada, fecha y tiempo, etc.

45 En la etapa 420 se obtiene la función de valor que se va a usar para la carga particular. En general, puede utilizarse una función de valor diferente para cada tipo de carga aunque pueda tener una forma funcional similar. El propósito de la función de valor en el método corriente es distinguir entre los así llamados parámetros de control bueno y malo en términos de maximización de la flexibilidad de potencia de la carga, y producir un conjunto de parámetros de control óptimos que serán utilizados para dirigir la carga cuando se programa la potencia. En esta etapa se introduce una función de valor que ha sido construida para una carga particular. Un ejemplo específico de una función de valor 50 podría ser utiliza con una carga en almacén frío se presenta a continuación.

$$V = \mathbf{E} [ \Sigma_i \Delta E_i / E_{\text{pico}} - \rho ]$$

$$= \int P(x) dx [ \Sigma_{i=1}^K \Delta E_i(x) / E_{\text{pico}} - \rho(x) ]$$

en donde

- E es el operador de expectativa que indica la generación del promedio que utiliza la distribución de estados de carga introducidos anteriormente;
- $\Delta E_i = \Delta E_i(x) = \sup_{\theta_a} E_i(x, \theta_a) - \inf_{\theta_a} E_i(x, \theta_a)$  es la diferencia entre el consumo de energía máximo y mínimo permitido de la carga dado un estado de carga durante el intervalo de tiempo  $i^o$ . Una referencia explícita al tiempo se hace aquí puesto que la energía permitida podría depender de las restricciones dependientes del tiempo;
- $\theta_a$  denota los valores permitidos de los parámetros de control;
- x denota un posible estado de carga/ambiente, x elemento de L, con  $L = \{x \mid x \text{ elemento de } L\} = \text{el conjunto de todos los posibles estados de carga};$
- P(x) es la distribución de probabilidad estadística de estados de carga (encontrada, por ejemplo, utilizando un histograma de estados de carga a partir de datos históricos);
- $E_{\text{pico}}$  es el consumo de energía máximo del sistema en el intervalo de tiempo dado; y
- $\rho$  tal como es introducida en la forma funcional genérica resume el impacto económico de controlar la carga.

Un ejemplo simple del término  $\rho$  tiene en cuenta el impacto del direccionamiento controlado en el tiempo de vida de la carga y la eficiencia en energía de la carga:

$$\rho = w_1 * \Delta t_{\text{uso}} / t_{\text{tiempo de vida}} + w_2 * \eta / \eta_{\text{max}}$$

en donde

- $t_{\text{tiempo de vida}}$  es el tiempo de vida esperado de un recurso (por ejemplo, para una carga, el tiempo de vida esperado del fabricante);
- $\Delta t_{\text{uso}}$  es el impacto sobre ( $t_{\text{tiempo de vida}}$ ) seleccionando parámetros de control específicos dado el estado corriente del sistema;
- $\eta$  es la eficiencia en la energía de la carga dado el estado local y la selección de una acción de control específica;
- $\eta_{\text{max}}$  es la eficiencia máxima de la carga, dado ese estado de carga;
- $W_i$  son los pesos asignados a los "términos de penalización."

El valor de expectativa es tomado a lo largo de la distribución de los estados de carga permitidos con el fin de promediar la función puesto que el comportamiento de la carga depende de su estado (por ejemplo, muestreo en todas las posibles temperaturas del almacén frío). Para temperaturas promedio habrá más flexibilidad de potencia (esto es, la potencia podría ser cambiada mientras que se siguen todavía las restricciones de temperatura interna) en comparación con temperaturas en los contornos de la banda de temperatura interna en donde el cambio en potencia permitido será cero. En otras palabras, si el almacén frío está a su temperatura interna máxima, puede no ser permisible reducir cualquier potencia al almacén frío.

La escala de tiempo a la que se hace en la función de valor es el tiempo asociado con un ciclo de carga, un ciclo de tiempo natural a la carga útil para determinar la función de valor. Un ciclo de carga está definido como el horizonte de planeación típico sobre el cual trabaja el operador de la carga. Este horizonte de planeación es importante puesto que es utilizado en restricciones del usuario (por ejemplo, "disminuir la temperatura en el almacén frío antes de la llegada de bienes nuevos programada para mañana a las 7 a.m."). Esta escala de tiempo está dividida típicamente en varios intervalos de tiempo que reflejan la temporización en la cual trabaja el mercado de energía (por ejemplo, intervalos de 15 minutos). La función de valor tal como se describió más arriba contiene por lo tanto una suma de todos los intervalos que comprenden la escala de tiempo completa puesto que el valor de función está definido sobre el ciclo de carga completo. Por ejemplo el ciclo de carga natural de un almacén frío puede ser muy bien un día individual el cual incorpora el calor del día con el frío de la noche. En el ejemplo de cargar un ordenador portátil, el ciclo de carga natural puede ser una cesión de carga individual que dura aproximadamente 8 horas en las cuales la batería es cargada desde un estado de agotamiento hasta un estado de energía completa (nótese que la batería del ordenador portátil puede no estar cargándose durante la duración completa de la sesión de carga).

En general, la función de valor maximiza el intervalo de energía  $\Delta E$  (energía máxima permitida dentro de las restricciones menos la energía mínima permitida dentro de las restricciones) alcanzable en un intervalo de tiempo particular por la carga balanceando de esta manera los costes potenciales en los que se ha incurrido al controlar la carga. La generación de la maximización de la función de valor por lo tanto constituye los parámetros de control óptimos que pueden ser utilizados para direccionar la carga (dentro de sus restricciones) cuando un participante en el mercado de la energía requiere que la carga utilice más potencia o utilice menos potencia. En otras palabras, al maximizar el intervalo de energía, la función de valor produce parámetros de control óptimos que dan al participante

en el mercado de la energía el rango más amplio de flexibilidad para proveer menos potencia o menos potencia a la carga teniendo en cuenta todas las restricciones y los costes económicos.

5 Como se muestra, la función de valor es aumentada por términos de penalización negativos indicando aquellas restricciones suaves (usualmente indicando un impacto económico) determinadas previamente. Por ejemplo, utilizando un conjunto de parámetros de control que produce un desgaste significativo sobre el compresor de un almacén frío se introducirá una penalización más grande en la función de valor y hace menos probable que se escoja ese conjunto de parámetros de control como conjunto óptimo. Preferiblemente, todos los términos de la función de valor incluyen denominadores para hacerla menos dimensional y están escalados utilizando factores de peso.

10 En la etapa 424 se maximiza la función de valor con el fin de determinar el conjunto de parámetros de control óptimos. En otras palabras, la función de valor es resuelta produciendo el conjunto óptimo de parámetros de control (ausentes sus valores) necesarios para controlar la carga con flexibilidad de potencia óptima maximizada. Por ejemplo, el conjunto óptimo de parámetros de control para un almacén frío puede ser determinado para hacer las posiciones de válvula del evaporador y una banda de temperatura entre la cual se permite que las válvulas del evaporador cambien de posición libremente. Para un ordenador portátil, el parámetro de control óptimo puede ser interrumpir el suministro de potencia y conmutar al uso de la batería.

15 Las funciones de valor simples (esto es, aquellas con menores términos y un número limitado de variables de estado) pueden ser resueltas utilizando técnicas de minimización numérica estándar tales como el algoritmo Simplex del método de Newton-Raphson. Funciones de valor más complejas (esto es, aquellas con más términos o muchos parámetros de control) pueden ser resueltas utilizando una técnica de cadena Monte Carlo restringida según Markov. Para estas funciones de valor complejo, en la determinación de una estrategia de control, la función de valor puede ser aumentada mediante un término de regularización (el cual penaliza parámetros de control grandes) con el fin de hacer que el problema sea convexo. Para determinar la fuerza del término de regularización, se puede utilizar el método de Morozov. Para calcular cada término en la función de valor, se utiliza el modelo de carga previamente obtenido para la carga. Intuitivamente, puede entenderse que la maximización de la función de valor significa repetir todas las combinaciones de parámetros, y determinar el efecto de ciertas combinaciones sobre la función de valor. Por ejemplo, ¿cómo el encender o apagar los ventiladores en un almacén frío afectan la temperatura y la cantidad de potencia necesaria? Eventualmente, se puede escoger el conjunto de parámetros que provean el valor máximo para la función de valor y este será el conjunto óptimo de parámetros de control.

20 Además, debido a la forma adimensional específica de la función de valor, su máximo es un valor numérico que indica en una manera universal el grado al cual una carga particular es capaz de maximizar la flexibilidad de potencia. Si se crean funciones de valor y se maximizan para cualquier número de cargas, la carga que produce el valor más alto será la carga que es la mejor en manejar los cambios en potencia, y tal vez la mejor en maximizar el valor a partir del punto de vista de un participante en el mercado de la energía. Esta carga particular puede ser identificada, y pueden ordenarse las cargas haciendo disminuir los valores para uso posterior en la programación de potencia.

25 En la etapa 430 puede ser necesario en algún momento del tiempo, bien sea redeterminar los parámetros de control óptimo o reajustar el modelo. Si es evidente que la carga no está siguiendo el modelo o que la función de valor no está siendo optimizada (debido a cambios en la dinámica de la carga), puede ser necesario determinar de nuevo los parámetros de control óptimos tal como se describió más arriba. O, cambios en la dinámica de la carga pueden dictar que el modelo sea reajustado. El reajuste puede ocurrir utilizando, por ejemplo, un procedimiento de optimización local que parte desde la solución previa.

#### Programación de potencia para una carga

30 La figura 10 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual la potencia es programada para una carga individual. Aunque típicamente se agregaran cargas individuales a una carga sencilla virtual más grande como se describe más adelante, eventualmente será necesario programar potencia para cada carga y asegurar que la carga opere aun dentro de sus restricciones. En la etapa 440 los niveles de potencia para todos los intervalos de tiempo en un período de tiempo dado (esto es, una programación de energía) están determinados para una carga particular. Estos niveles de potencia pueden ser determinados en el contexto de una transacción de energía discutida en más detalle más adelante.

35 En la etapa 444 se introduce el modelo inverso para la carga. Como se describió más arriba, el modelo inverso ha sido producido en la etapa 414 y, mientras que el modelo de carga produce una potencia resultante para la carga dado un conjunto de parámetros y valores de entrada, el modelo inverso produce parámetros y valores requeridos para un intervalo dado cuando se introduce energía. El modelo inverso puede estar restringido a solamente la generación de aquellos parámetros de control óptimos (y sus valores) en vez de generar otros parámetros de control

que no son óptimos. El modelo inverso ha sido diseñado para generar valores para los parámetros de control óptimos para cada intervalo de tiempo a lo largo del período de tiempo con el fin de realizar la programación de energía incorporada por los niveles de potencia de la etapa 440.

5 A la vez que el modelo inverso generará los parámetros de control apropiados y sus valores para intervalos de tiempo particulares durante un período de tiempo, puede haber situaciones en las cuales el valor de un parámetro de control cambiará durante un intervalo de tiempo. El modelo inverso también es capaz de acomodarse a esta situación. Puesto que el modelo mismo describe la dinámica de la carga dada la programación de parámetros de control, al invertirse esta relación (esto es, crear el modelo inverso) se generará una programación de control posiblemente variable con el tiempo para alcanzar un consumo de energía dado. Por ejemplo, si la batería de un  
10 vehículo eléctrico necesita solamente 5 minutos de carga en un intervalo de tiempo dado para quedar completamente cargada, el modelo inverso tendrá eso en cuenta y valores de control que darán como resultado que la batería es recargada solamente los primeros 5 minutos del intervalo de tiempo, y después ese proceso de carga terminará.

15 En la etapa 448 se proveen estos niveles de potencia al modelo inverso lo cual da como resultado entonces una programación de control de parámetros (preferiblemente los parámetros óptimos) y sus valores. Esta programación de control de generación indica para cada intervalo de tiempo en el período de tiempo, cuáles parámetros de control deberían ser usados y cuáles deberían ser los valores. En la etapa 452 esta programación de control es entregada desde el sistema 160 de control central a la carga usando cualquier red de comunicaciones adecuada, y la programación es ejecutada entonces por la carga utilizando cualquier hardware de control adecuado, una de cuyas  
20 implementaciones se describe más adelante.

Para ilustrar una implementación de las técnicas anteriores, considérese un ejemplo del almacén 200 frío de la figura 8 el cual tiene tres celdas conectadas a un compresor 208 sencillo. Los parámetros de control disponibles son: potencia del compresor (que tiene valores de 0.50 y 100%); posición de la válvula de evaporación de la celda (abierta o cerrada); velocidad del ventilador en evaporadores (continuos o limitados dentro de un cierto intervalo);  
25 punto de fijación de temperatura de cada celda; y una banda de temperatura que da temperatura mínima y máxima de las celdas.

Utilizando la función de valor definida más arriba, por ejemplo, puede verse intuitivamente que al utilizar la potencia del compresor como parámetro de control para direccionar el uso de potencia del almacén frío afecta significativamente el deterioro de la máquina. Por ejemplo, al direccionar el compresor entre potencia cero y un nivel  
30 de potencia más alto se contribuye a su deterioro, y al utilizar el compresor por debajo del 100% se lleva a una eficiencia menor de energía. Este impacto negativo sobre el tiempo de vida del compresor hace que el término correspondiente en la función de valor (teniendo en cuenta el tiempo de vida y el desgaste del compresor) sea demasiado dominante y la función de valor se fijará en una solución diferente que no involucra el uso del compresor como un parámetro de control óptimo.

35 Al utilizar el punto de fijación de temperatura de las celdas como parámetro de control se implica también que el compresor tendrá que encenderse y apagarse frecuentemente, implicando de nuevo un deterioro del compresor. Además, también es evidente que al utilizar un punto de fijación como parámetro de control se llega a una flexibilidad significativamente menor especialmente para celdas múltiples. En primer lugar, puesto que la temperatura puede desviarse solamente una pequeña cantidad del punto fijado, esto reduce la flexibilidad para una  
40 celda individual. Además, puesto que el punto de fijación puede controlar cualquier sincronización entre celdas, el consumo de potencia agregado es suavizado. Otra razón por la cual una solución a la función de válvula descartara este parámetro de control es que en el caso de celdas múltiples, frecuentemente no todas las celdas necesitarán enfriamiento implicando de nuevo que el compresor tendrá que funcionar por debajo del 100%.

45 Por lo tanto, la función de valor no tendrá en cuenta el compresor y el punto de fijación de temperatura como posibles parámetros de control óptimos y seleccionará unos diferentes. En este caso, una solución a la función de valor proveerá como parámetros de control óptimos la posición de la válvula del evaporador y la banda de temperatura. Estos parámetros de control óptimos son capaces de controlar la generación de potencia del compresor de tal manera que puede funcionar a potencia máxima (y eficiencia óptima) y será desconectado raramente como sea posible. De acuerdo con lo anterior, el resolver una función de valor, tal como la función de  
50 valor descrita en la etapa 420, genera parámetros de control óptimos permitiendo que la potencia de la carga sea direccionada en cualquier dirección mientras que también se maximiza la eficiencia de la carga y se mantienen sus componentes. Una vez que estos parámetros de control están determinados, cuando la potencia es programada entonces y provista al modelo inverso en la etapa 448 la generación será la programación de control mencionada más arriba que utiliza los parámetros de control óptimos. Así, la carga puede ser direccionada bien sea para reducir  
55 su potencia o para utilizar más potencia dentro de sus restricciones.



5 Aunque una carga individual puede hacerse flexible, los participantes en el mercado de la energía que buscan potencia flexible típicamente no están interesados en los detalles y la flexibilidad de cargas individuales pequeñas. El número de restricciones forma una complejidad que es indeseada, y además, el tratar con cargas individuales simplemente no es económico para un participante mayor en el mercado de la energía. Esta realización motiva la suma de un gran conjunto de cargas individuales en una carga nueva, virtual, la cual tiene condiciones de contorno que son fáciles de entender y que pueden ser direccionadas utilizando parámetros de control simples como si hubiera una carga grande.

10 De acuerdo con lo anterior, se describe una técnica que permite que cualquier número de cargas individuales sean agregadas a nueva carga virtual individual con flexibilidad que pueda ser controlada fácilmente por un participante en el mercado de la energía. Preferiblemente, la carga virtual tiene un parámetro de control sencillo, su nivel de potencia.

#### Agregación de cargas individuales

15 La figura 11 ilustra cuántos recursos (R), o cargas, pueden ser agregados en una carga virtual individual. Se muestran cargas 480-488 individuales teniendo cada una sus propias restricciones, parámetros de control, funciones de valor y necesidades específicas de potencia. Utilizando una función de valor global, estas cargas pueden ser agregadas en un recurso virtual individual, o en una carga 490 virtual, con consumo de potencia en forma de un parámetro de control individual. Ventajosamente, el participante en el mercado de la energía necesita solamente preocuparse con el direccionamiento de los requerimientos de potencia de la carga virtual (para la cual se provee flexibilidad) que son mapeados entonces para controlar las programaciones (incluyendo parámetros de control y sus valores) para cada una de las cargas individuales. Desde luego, pueden crearse muchas cargas virtuales, cada una siendo una agregación de un conjunto distinto de cargas individuales. Por ejemplo, las cargas 480 y 486 pueden ser agregadas para formar una primera carga virtual, las cargas 482, 484 y 487 pueden ser agregadas para formar una segunda carga virtual, y la carga 488 puede existir por sí misma o puede ser agregada con otras cargas para formar una tercera carga virtual.

25 La figura 12 es un diagrama de flujo que describe cómo las cargas son agregadas en una carga virtual. Una vez que se ha agregado cualquier número de cargas, la carga combinada puede verse como una carga virtual y la potencia puede ser programada entonces para esta carga virtual como si fuese una carga real individual.

30 Las restricciones y parámetros de control para cualquier número de cargas pueden ser ingresadas en una variedad de maneras. En una realización, las etapas 404-424 pueden ser ejecutadas para carga individual generando así no solamente las restricciones para cada carga, el modelo y el modelo inverso, sino también el conjunto de parámetros de control óptimos para cada carga. De esta manera, la agregación de todas las cargas incluye un conjunto de parámetros de control óptimos para cada carga y dará como resultado una solución óptima. Puede ser el caso, sin embargo, que algunos o todos los parámetros de control óptimos no estén disponibles para uso con una carga particular. Sin embargo, en ese caso, se pueden todavía ejecutar las etapas 404-424 ahora con las restricciones adicionales sobre la no disponibilidad de algunos parámetros de control. El método generará entonces otros parámetros de control que de nuevo son óptimos dado el conjunto agrandado de restricciones de aquellos parámetros serán utilizados entonces en la etapa de agregación actual. Por ejemplo, un almacén frío particular puede no permitir que un grupo de válvulas del evaporador sean controladas, aunque las válvulas del evaporador normalmente serían consideradas como un parámetro de control óptimo.

40 De acuerdo con lo anterior, la figura 12 presenta una realización posible para agregar las cargas. En la etapa 504 las restricciones para cada carga (fabricante, usuario y *soft*) son ingresadas o recuperadas de alguna u otra manera desde una base de datos local. En la etapa 508 el conjunto de parámetros de control disponible para cada carga es introducido (algunos conjuntos que pueden ser todos los parámetros de control opcionales y algunos conjuntos que posiblemente incluyen una mezcla de parámetros de control opcionales y no opcionales).

45 En la etapa 512 la función de valor para cada carga es introducida, siendo posiblemente diferente cada función de valor de las otras funciones de valor. O, en el caso de cargas similares, las funciones de valor pueden tener una forma similar pero pueden incluir diferentes términos que son dependientes de la carga. Junto con la función de valor para cada carga también se introduce el modelo de carga y el modelo inverso para cada carga que ha sido determinado en la etapa 414. Como se discutió, cada carga tiene un conjunto de parámetros para controlar su comportamiento. El dominio de la función de valor está restringido a ellos. En el caso donde exista la libertad de seleccionar los parámetros, usaremos el método previo para determinar los óptimos y restringir el dominio de la función de valor a aquellos durante el procedimiento actual.

55 En la etapa 516 se introduce una función de valor global. Un ejemplo de la función de valor global es la fórmula mostrada más abajo e incluye una sumatoria de cada función de valor individual de cada carga así como un término económico " $\zeta$ " conocido como zeta.

$$V = \sum_i v_i + \zeta$$

5 El primer término representa el impacto de cada carga. Nótese que la expectativa no es tomada a lo largo de todos los posibles estados de carga iniciales, puesto que la función de valor global es utilizada para programar cargas agregadas. El término económico puede tomar diversas formas, dependiendo del usuario final o de la flexibilidad tal como un proveedor de energía o un operador del sistema. De acuerdo con lo anterior, el término económico aplica un valor económico sobre la flexibilidad agregada de acuerdo con el punto de vista del usuario.

10 Usuarios diferentes pondrán un cierto valor económico sobre la flexibilidad de la carga virtual. Para un proveedor de energía, o un balanceador del día a día, el valor económico está guiado principalmente por la temporización de la flexibilidad que coincide con los picos de potencia durante el día. Por ejemplo, la flexibilidad de la potencia durante el pico de demanda tiene más valor para un proveedor que la potencia flexible durante los momentos de base porque los precios de la electricidad son más altos en los picos. El proveedor de energía también está preocupado con ser capaz de satisfacer la demanda durante estos picos de energía. Para un operador del sistema, sin embargo, el valor económico está guiado principalmente por la disponibilidad en marcha de la flexibilidad. En otras palabras, el operador del sistema querría tener flexibilidad (esto es, capacidad de potencia) en todos los momentos a lo largo del día, más que la capacidad de satisfacer las necesidades de potencia en ciertos picos. El operador del sistema desea esta capacidad con el fin de mantener la estabilidad de la red. Para un operador del sistema el valor económico también puede ser guiado por el tiempo de respuesta de la carga virtual, esto es, el retraso mínimo necesario para programar la carga virtual. De esta manera, en este caso el término económico será una función decreciente con respecto al tiempo de respuesta. Para el operador del sistema de distribución, sin embargo, el valor económico será guiado por la distancia al desbalance, tal como se mide a lo largo de la red. Un balanceador durante el mismo día valorará un consumo flexible de manera más alta cuando su tiempo de respuesta es bajo. Por lo tanto, en tal caso la función de valor indicará un valor descendente de la flexibilidad como función del tiempo de respuesta.

25 Un intermediario, tal como un agregador de respuesta a la demanda, que utiliza un sistema 160 de control central buscando ofrecer una carga virtual flexible a diversos participantes en el mercado de la energía puede escoger un término económico que maximice el beneficio del intermediario y puede utilizar un término económico tal como es mostrado a continuación

$$\zeta = \mathbf{E} [\max(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_N)];$$

$$\zeta = \int P(\mathbf{x}) \, d\mathbf{x} \max(\zeta_1(x_1), \zeta_2(x_2), \dots, \zeta_N(x_N))]$$

30 En dónde E es el operador de expectativa que calcula la expectativa del argumento sobre la distribución de los argumentos  $x_i$  respectivos; y

cada  $\zeta_i(x_i)$  es el valor económico visto por un participante dado en el mercado de la energía, y la dependencia es sobre los impulsores de este valor económico.

35 Por ejemplo, para un proveedor de energía,  $x_i$  puede ser un par de (i) el desbalance en su cartera y (ii) el precio de electricidad y  $\zeta_i(x_i)$  será el valor económico de la flexibilidad dado ese precio de electricidad y signo/cantidad del desbalance en la cartera del proveedor. Para un operador del sistema,  $x_i$  puede ser el tiempo de respuesta del sistema de gestión de energía y  $\zeta_i(x_i)$  puede ser el valor económico de la flexibilidad dado ese tiempo de respuesta y el signo o cantidad del desbalance en la red actual.

40 En otras palabras, en términos económicos escogido por el sistema de control central, a la vez que no maximiza el valor para un participante particular en el mercado de la energía, maximiza el valor para el intermediario en el suministro del servicio. En este ejemplo, el agregador demanda-respuesta preferiría vender la flexibilidad de potencia al participante en el mercado de la energía con la oferta más alta. Por lo tanto, una función de valor global puede ser diferente para usuarios diferentes de la flexibilidad de potencia, y la optimización de estas funciones de valor generará soluciones diferentes.

45 En una implementación particular, el segundo término  $\zeta$  (que representa el valor económico de la flexibilidad programada) tiene una parte positiva (que indica el valor pagado para una programación  $E_s$  de energía requerida) y una parte negativa (que indica la penalidad pagada para esta programación equivocada de la energía-esto es, el consumo de energía que ha realizado  $E_r$  podría no ser exactamente igual a la energía  $E_s$  requerida). En el ejemplo específico a continuación, sin embargo, nos enfocamos solamente en la contribución positiva y se asume que el término penalidad está siempre en la forma de  $-w * (E_r - E_s)^2 / E_{pico}$  donde  $w$  es un factor de pesaje y  $E_{pico}$  es el consumo de energía máximo de la carga virtual. Debido al término flexibilidad por carga ( $\Delta E_i / E_{pico,i}$ ), se favorecen los parámetros de control eficientes. También, la función de valor global trata de ajustar la programación  $E_s$  de energía requerida debido al término penalización en  $\zeta$ . Y, el coste de programar, capturado por los términos  $\rho_i$  (por ejemplo

impacto sobre el tiempo de vida) presente en las funciones de valor de carga individual  $V_i$ , son balanceados con el valor económico de la flexibilidad modelado por la parte positiva de  $\zeta$ .

5 En un ejemplo específico, considérese un proveedor de energía enfocado en la comercialización un día antes de potencia. El Proveedor asociará un cierto coste marginal a la producción de potencia. La demanda de potencia básica (consumida durante periodos de baja demanda, por ejemplo, durante la noche) será suministrada típicamente por plantas de potencia de "bajo coste" tales como plantas nucleares, mientras que la demanda de potencia pico (consumida durante periodos de alta demanda, por ejemplo, los picos de la mañana y la tarde en los precios de la electricidad) típicamente será suministrada por plantas de potencia de "alto coste" tales como turbinas de gas. Esto creará un perfil del coste de la producción de potencia. (indicado aquí por  $\zeta$ ) durante el día, dependiendo del coste marginal para el proveedor.

10 Teniendo esto en consideración, el valor de la flexibilidad en este caso puede ser aproximado por la cantidad de consumo de energía que puede ser desplazada desde el periodo donde la energía es la más costosa al periodo donde la energía es la más barata. En fórmulas, esto se lee así

$$V = \sum v_i + \zeta$$

$$15 \quad \zeta = (p_{\max} - p_{\min}) * E_{\text{disp}}$$

Dónde  $V$  es la función de valor global para agregación como se explicó anteriormente;

$\zeta$  indica el valor económico de flexibilidad para el proveedor;

$p_{\max}$  y  $p_{\min}$  indican el precio máxima y mínimo por unidad de energía durante el día; y

$E_{\text{disp}}$  es la energía total disponible para desplazar desde el tiempo pico hasta el tiempo base.

20 En otro ejemplo específico, considérese un TSO enfocado en la capacidad. Con el fin de responder a desbalances inesperados en la red, un TSO estará interesado en una capacidad de potencia controlable, donde busque potencia que está disponible de manera máxima durante un periodo dado de tiempo (por ejemplo, durante un año completo, o cada día entre 5:00 pm y 8:00 pm durante un año completo). La función de valor global y el término económico serían entonces:

$$25 \quad V = E [\sum_{i=1}^k \Delta E_i / E_{\text{pico}} + \zeta]$$

$$\zeta = -[\sqrt{(\sum_{i=2}^k (E_i - E_{i-1})^2)}] * Q = \text{- volatilidad de energía disponible para balanceo por una tarifa fija.}$$

30 En la etapa 520 la función de valor global es maximizada (esto es, resuelta) con el fin de determinar una función de entrega 524 que no solamente es capaz de proveer la cantidad relativa de potencia que sería dada a cada una de las cargas a intervalos de tiempo particulares, sino también los parámetros de control para cada carga y sus valores durante estos intervalos de tiempo basados en la potencia dada. Más específicamente, la función de entrega mapea cada programación de consumo de energía, (permitida) de la carga virtual para controlar las programaciones de los parámetros de las cargas individuales de manera que se maximice la función  $V$  de valor total.

35 En otras palabras, asumiendo que una cantidad de energía está disponible durante un intervalo de tiempo del período de tiempo, la función de entrega provee tres funcionalidades: distribuye toda esa energía (en porcentaje) entre todas las cargas individuales; mapea la energía para cada carga a una energía variable en el tiempo en el intervalo de tiempo, utilizando la optimización de la función de valor (esto es, la potencia puede cambiar para una carga durante un intervalo de tiempo); y mapea el consumo de potencia durante el intervalo hasta un conjunto de parámetros de control y valores utilizando el modelo inverso asociado con cada carga. Como tal, la función de entrega determinada en 524 no provee niveles de potencia reales para cada carga o valores de parámetros reales, sino que producirá aquellos niveles y valores cuando se ejecuten, por ejemplo, en las etapas 544 y 548 cuando un nivel de potencia real para la carga virtual sea programado. Además, la primera funcionalidad puede ser extendida fácilmente para permitir una distribución variable en el tiempo de potencia, esto es, la potencia consumida con el intervalo puede cambiar, así como la distribución de potencia a lo largo de diferentes cargas.

45 Al resolver la función de valor global la potencia consumida por la carga individual es restringida para ser el único parámetro de control. La función de valor puede ser resuelta utilizando una variedad de técnicas conocidas en el arte. En general, una solución no puede ser encontrada analíticamente, sino que un algoritmo de búsqueda numérico debería ser utilizado para buscar la mejor solución.

Una implementación matemática particular, calcula primero "fuera de línea" una solución inicial utilizando técnicas estándar de la programación restricción. Durante la fase en línea (tiempo real) utiliza la relajación de fase de Lagrange y el muestreo de restricción para aproximarse rápidamente a la región óptima. Para predecir el consumo de potencia de cada carga, se utilizan diversas implementaciones de regresión regularizada donde seleccionamos la fuerza de la regularización que utiliza validación cruzada. Para programar, puede utilizarse un algoritmo de búsqueda exhaustiva. El algoritmo de búsqueda exhaustiva calcula el consumo de energía óptimo de cada carga y calcula el gradiente de la función de valor con respecto al consumo de energía. Se da preferencia a todas las cargas por gradientes decreciente, y cuando reprogramamos la diferencia entre consumo óptimo (la suma de todos los niveles de energía óptimos) y la energía total que va a ser programada variando los niveles de energía sobre las cargas con primera prioridad más alta hasta que se programe exactamente la cantidad requerida. Esta implementación es parte de una realización de la función de entrega discutida anteriormente. En efecto, partiendo de una cantidad de energía dada que tiene que ser consumida por la carga virtual en un intervalo de tiempo dado, el algoritmo exhaustivo entrega la energía sobre todas las cargas de una manera que maximice la función de valor. Una vez que los perfiles de potencia correspondientes por carga han sido calculados, convertimos estos perfiles en programaciones de parámetro utilizando los modelos de carga inversos. Así, la función de entrega es aquí la composición de dos operaciones: aplicar los modelos de carga inversa al perfil de potencia resultante de cada carga tal como ha sido calculado por el algoritmo exhaustivo. Otras técnicas que pueden ser utilizadas para maximizar la función de valor global son los procedimientos de maximización global tales como fusiónamiento simulado y algoritmos genéticos.

Tal como se mencionó, la resolución para la función de valor global provee una función de entrega capaz de proveer los parámetros de control y sus valores para cada carga para cada intervalo de tiempo del periodo de tiempo en cuestión. Por ejemplo, una vez que la solución anterior provee un porcentaje de la potencia global que va a ser entregada a una carga particular dentro de un intervalo de tiempo, la función de entrega también provee los medios para determinar los parámetros de control y valores necesarios para consumir esa potencia durante ese intervalo de tiempo (potencia que podría ser variable con el tiempo dentro del intervalo de tiempo). Esto se hace mediante el uso del modelo inverso de la carga particular para traducir potencia (no energía en un intervalo) en una agenda de parámetro de control. La función de entrega restringe preferiblemente la imagen del modelo inverso para forzar la unicidad. Por lo tanto, la función de entrega mapea cada posible perfil de consumo de potencia en una agenda de parámetros de control.

Estos parámetros de control y sus valores también son en general dependientes del tiempo. Por ejemplo, no solamente un conjunto de parámetros y valores de control será generado para una carga particular para un intervalo de tiempo particular, sino que también estos valores pueden variar durante el intervalo de tiempo mismo con el fin de ajustar el consumo de potencia de las cargas. Por ejemplo, un conjunto de ordenadores portátiles dentro de una carga virtual pueden ser cargados secuencialmente durante un intervalo de tiempo particular. En otras palabras, dada una cantidad particular de energía para ser consumida durante un intervalo de tiempo, esta energía puede ser consumida cargando el primer ordenador portátil solamente durante los primeros cinco minutos del intervalo, un segundo ordenador portátil durante los siguientes cinco minutos, y cargando solamente un tercer ordenador portátil durante los últimos cinco minutos del intervalo de tiempo. Así, dada una cantidad particular de energía para una carga dada en un intervalo de tiempo, los parámetros y valores de control proveerán el mejor consumo de energía con el tiempo, el cual no es necesariamente un consumo promedio a lo largo del intervalo de tiempo completo. Puesto que el parámetro de control de la carga virtual es el consumo de energía instantáneo, incluso si el nivel de potencia de la carga virtual se mantiene constante, los valores del parámetro de control de las cargas individuales podrían cambiar con el tiempo (con base en la función de entrega) debido a la evolución de los estados de carga individuales según son gobernados por los modelos de carga.

Finalmente, es claro que en virtud de la función de valor, la función de entrega siempre programa potencia en una forma que es la más valiosa para el usuario de la carga virtual. Por ejemplo, cuando se considera la función de valor del encargado de entregar en el día quien requiere una flexibilidad de respuesta rápida, las cargas que tienen tiempos de respuesta cortos serán programadas antes de las otras cargas que comprenden la carga virtual. De tal manera, la carga virtual tendrá el mínimo tiempo de respuesta produciendo un valor más grande de la función de valor total.

#### Programación de potencia agregada

La figura 13 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual puede programarse potencia agregada para cargas individuales a través de una carga virtual. De manera ventajosa, un participante en el mercado de la energía puede entregar simplemente una programación de potencia individual a una carga virtual y luego una realización de la presente invención programará automáticamente esa potencia para cada una de las cargas individuales dentro de la carga virtual y proveerá parámetros y valores de control para el periodo de tiempo, a la vez que asegura que las restricciones para todas las cargas individuales son todavía satisfechas.

En la etapa 540 se recibe un ajuste de nivel de potencia desde un participante en el mercado de la energía para un intervalo de tiempo particular para una carga virtual. Este nivel de potencia puede ser recibido después de que el participante en el mercado de la energía haya ejercido flexibilidad con el fin de incrementar o hacer disminuir la potencia a la carga virtual relativa a su curva de referencia original (discutida más adelante). El participante en el mercado de la energía habrá introducido un nivel de potencia positivo o negativo con respecto a la curva de referencia (utilizando convenciones estándar, indicando un valor positivo que la carga debe utilizar menos energía, e indicando un valor negativo que la carga debe utilizar más energía).

Desde luego, pueden recibirse ajustes en el nivel de potencia durante un período de tiempo completo así como para cualquier número intervalos de tiempo dentro de un período de tiempo. Puede asumirse que el nivel de potencia introducido por el participante en el mercado de la energía tiene permitido un valor que cae dentro de límites superiores e inferiores de tal manera que el sistema es capaz de verificar esa condición. Nótese que para facilidad de presentación, el participante en el mercado de la energía siempre suministra un nivel de energía constante a lo largo de uno (o más) intervalos de tiempo. Sin embargo, este solamente implica que la cantidad de energía consumida durante el intervalo de tiempo debería ser igual a la energía consumida durante ese intervalo en el nivel de potencia constante dado. Por lo tanto, la carga virtual puede consumir la cantidad de energía dada a una rata variable en el tiempo durante el intervalo de tiempo.

En general el consumo de energía total para una carga dada frecuentemente permanecerá constante (dependiendo de las restricciones) cuando se mide a lo largo de un ciclo de carga completo. Por ejemplo un almacén frío puede requerir que su compresor funcione aproximadamente cuatro horas cada día con el fin de mantener sus alimentos congelados. Si una transacción de energía requiere que una hora de tiempo de compresor sea agregada más temprano en el día (con el fin de distribuir el exceso de potencia), entonces una hora del tiempo del compresor debería ser sustraída en cualquier momento durante ese día con el fin de que el compresor funcione solamente durante cuatro horas. Sin embargo, hay ciertas condiciones que proveen una excepción a esta regla general en las cuales el consumo de energía total durante un periodo de tiempo particular no necesita permanecer constante. Este es el caso siempre que las restricciones son suficientemente permisivas. Cuando esto sucede, el sistema de control puede mover más flexibilidad de un ciclo de carga al otro. Esto se ha decidido una vez con base en el valor (esperado) de la función de valor en etapas posteriores. Por ejemplo, un almacén frío que tiene una amplia banda de temperatura (y operadora durante el intervalo de tiempo en cuestión en el rango superior de esa banda) puede ser capaz de utilizar un 1 MWh extra de energía (Así, haciendo disminuir su temperatura) y no necesita sustraer 1 MWh extra de energía en algún punto durante el resto del día. Debido a que el almacén frío en este ejemplo puede "manejar" la energía extra y todavía satisfacer sus restricciones, no es necesario compensar retirando la energía extra en algún otro momento. Como se explicó más arriba, la programación será seleccionada de tal manera que se maximice la función. Por ejemplo, en el caso de que el de que el MWh adicional es barato, el sistema podría utilizar esto para compensar el MWh costoso de un día después (en otro ciclo de carga).

Asumiendo que el consumo de energía total para la carga virtual debe mantenerse constante, la etapa 542 determina primero la energía total que debe agregarse al período de tiempo sumando todos los niveles de potencia (positivo o negativo) para todos los intervalos designados tal como recibieron más arriba. A continuación, la etapa compensa la energía total que se va a agregar (o sustrae) al intervalo de tiempo (o intervalos) programando una correspondencia negativa de la energía total (la energía de compensación) en algún lugar adicional (diferente a los intervalos diseñados para los cuales fueron recibidos los niveles de potencia) durante ese período de tiempo para la carga virtual. En otras palabras, la energía adicional total producida por el participante en el mercado de la energía en la etapa 540 debería sumar cero cuando se combina con la energía de compensación programada en la etapa 542. Desde luego, la energía total negativa no será agregada al intervalo o intervalos de tiempo seleccionados por el participante en el mercado de la energía en la etapa 540, y puede ser agregado a un intervalo de tiempo sencillo o puede ser dividido entre los múltiples intervalos de tiempo. Cuando las restricciones de cada una de las cargas individuales son estrictas, puede suceder una compensación en todas y cada una de las cargas individuales.

La programación de la energía total negativa durante el período de tiempo para la carga virtual puede lograrse de diferentes maneras. En un ejemplo, puede lograrse tal programación utilizando las técnicas descritas en las etapas 740-752 (y también pueden haber sido llevadas a cabo en cuyo caso la etapa 542 no es necesaria). En este ejemplo, los intervalos designados en los cuales el participante en el mercado de la energía desea programar energía adicional están excluidos del conjunto bajo consideración en la etapa 740. Una vez que el bucle sale en la etapa 760, entonces la distribución del nivel de energía decidida más recientemente en la etapa 740 será utilizada para implementar la etapa 542. Este procedimiento de compensación puede ser modificado, por ejemplo, para minimizar el impacto económico sobre la cartera del participante en el mercado de la energía.

Una vez que la energía total negativa ha sido programada en la forma de compensación de niveles de potencia para intervalos particulares para la carga virtual, estos valores de energía (energía total que va a ser agregada y energía de compensación) están listos para ser distribuidos entre las cargas actuales. En la etapa 544 los ajustes en el nivel de potencia deseada son distribuidos a lo largo de todas las cargas dentro de la carga virtual para los intervalos de

5 tiempo particulares en cuestión. Esta distribución se lleva a cabo utilizando los porcentajes de distribución de energía a partir de la función de entrega determinada en la etapa 524. En otras palabras, un ajuste del nivel de energía particular para un intervalo de tiempo particular será distribuido a lo largo de todas las cargas de acuerdo con los porcentajes de distribución. Además, en la etapa 544 los niveles de potencia de compensación determinados en la etapa 542 para intervalos de tiempo particulares también serán distribuidos a lo largo de todas las cargas utilizando los porcentajes de distribución. Nótese que la compensación de los niveles de potencia no será distribuida a lo largo de aquellos intervalos de tiempo designados en la etapa 540 por el participante en el mercado de la energía.

10 En la etapa 548 cada nivel de potencia deseado por intervalo (ajuste o compensación) distribuido a una carga individual puede ser agregado al valor de la curva de referencia original para la carga con el fin de obtener niveles de potencia absolutos deseados por todos los intervalos. En otras palabras, si una carga particular originalmente pide 4 MW durante un intervalo de tiempo, y la compensación del nivel de potencia para esa carga es -1 MW, entonces el nivel de potencia absoluto para el intervalo será 3 MW. A continuación, estos niveles de potencia absoluta para una carga particular son puestos en el modelo inverso para esa carga con el fin de determinar los parámetros de control y sus correspondientes valores para el intervalo o intervalos de tiempo. Cada carga se maneja de manera similar en esta forma. Preferiblemente, la etapa 548 utiliza la función de entrega determinada en la etapa 524 para introducir niveles de potencia a los modelos inversos.

En la etapa 552 los parámetros y valores son entregados a cada carga usando, por ejemplo, la red 140 y hardware y software adecuados.

20 Curvas de referencia

La figura 14 ilustra una curva 560 de referencia de ejemplo para una carga virtual particular. En este ejemplo, sea agregado cualquier número de ordenadores portátiles a una carga virtual individual y la curva 560 de referencia ilustra la curva de potencia prevista para el día siguiente que será nominada a un proveedor de energía. Desde luego, la curva podría desviarse ligeramente a la izquierda, de forma que todas las demandas de potencia caigan exactamente en un día individual. La curva de referencia ilustra la cantidad de potencia necesaria en tiempos particulares con el fin de cargar las baterías de todos los ordenadores portátiles dentro de la carga virtual.

30 Como es conocido en el arte, el mercado de energía utiliza el concepto de una curva de referencia nominada para alcanzar el equilibrio de mercado (entre suministro y demanda). Cada día, por ejemplo, un proveedor de energía entrega (o nomina) una curva de referencia al TSO (por ejemplo) con una lista de una programación de energía para el día siguiente, la cual detalla cuál será su suministro de energía y cuál será su demanda de energía. El suministro debe satisfacer la demanda pues de otra forma el proveedor será penalizado por el operador del sistema. Para ayudar a un proveedor de energía a satisfacer ese requerimiento, típicamente un consumidor industrial grande de potencia debe de la misma forma nominar una curva de referencia para el día siguiente mostrando su consumo de potencia durante cada intervalo de tiempo.

35 De acuerdo con lo anterior, puesto que el sistema 160 de control (un intermediario) ha agregado muchas cargas en una carga virtual relativamente grande, este intermediario puede ser tratado como un consumidor industrial grande y puede también nominar una curva de referencia cada día a un proveedor de energía (o tal vez a un operador de sistema) mostrando su demanda esperada a través de todas sus cargas para el día siguiente. El proveedor de energía usará entonces esta curva de referencia de la carga virtual para preparar su propia curva de referencia para el operador del sistema. Ventajosamente, aunque el intermediario nomine una curva de referencia particular, las técnicas de la presente invención permiten que el intermediario provea flexibilidad en la potencia usada durante cada intervalo de tiempo. Tal flexibilidad permite que un participante en el mercado de la energía (tal como el proveedor de energía) ajuste la carga virtual en respuesta a un exceso o caída de potencia durante el día programado, permitiendo que un proveedor de energía evite penalidades, asistiendo al operador del sistema en el mantenimiento de un red estable, y permitiendo que el propietario de cada carga ahorre dinero.

40 La región 562 ilustra que la carga de todos los ordenadores portátiles comienza a las 6 pm, disminuye ligeramente a las 9:15 pm y termina a las 9:30 pm. Temprano en la mañana (u opcionalmente, tarde esa noche), la carga comienza de nuevo como se muestra en la región 564, disminuye, y luego termina aproximadamente a las 12:45 am. Debe anotarse que un consumo real, no modificado a un exceso o caída de potencia presentaría una curva de referencia ligeramente diferente. En este ejemplo, se ha modificado una curva de referencia potencial ligeramente en dos maneras diferentes (denominadas como preagregación) con el fin de presentar la curva de referencia, tal como se muestra.

50 Primero, se ha impuesto una limitación por parte del propietario de la carga virtual de que toda la carga debe comenzar a las 6 pm, aunque los ordenadores portátiles puedan estar conectados a la red tan temprano como a las 4:00 pm. La línea 561 punteada muestra cargas que podrían ocurrir realmente más temprano si esta limitación no

fuera impuesta. Por ejemplo, los ordenadores portátiles serían conectados a la red aleatoriamente tan temprano como alrededor de las 4 pm y así la curva de referencia se incrementaría gradualmente como se muestra en 561. Pero, imponiendo una limitación de que la carga de todos los ordenadores portátiles no comienza hasta las 6 pm, el propietario de la carga virtual incrementa la exactitud de esta curva de referencia de predicción a un coste menor en flexibilidad. En otras palabras, en tanto las restricciones del usuario sean satisfechas todavía (esto es, "yo necesito mi ordenador portátil completamente cargado a las 8 am en la mañana"), el propietario de la carga virtual puede imponer este tipo de limitación dictando cuando la potencia debe ser usada, cuando la potencia no puede ser usada, una potencia mínima que debe ser usada en ciertos momentos, una potencia máxima que debe ser usada en ciertos momentos, y otros tipos de limitaciones sobre el uso de potencia. En general, este es un límite sobre la temporización y cantidad del consumo de potencia. Esto se hace para maximizar la confiabilidad del consumo de energía predicho (esto es, para tener una curva de nominación estable) puesto que así nos permite hacer uso de diversos efectos de la cartera.

Otra categoría de limitación que puede ser impuesta por el propietario de la carga virtual se relaciona con cuándo se ofrece flexibilidad de potencia a un participante en el mercado de la energía. En general, una carga virtual dada está disponible para tener su potencia dirigida en cualquier dirección durante el transcurso del día, en tanto tal direccionamiento caiga dentro de las restricciones de todas las cargas individuales. Pero, un propietario de una carga virtual puede imponer una limitación de que la carga virtual no tenga flexibilidad en momentos particulares. Por ejemplo, de 6 pm hasta medianoche la carga virtual está disponible para direccionamiento de la potencia (desde luego, desde las 9:30 pm hasta la medianoche la carga solamente está disponible para aceptar potencia en exceso más que usar menos potencia), pero después de la medianoche el propietario de la carga virtual ha decidido que no se ofrecerá flexibilidad. En otras palabras, después de la medianoche un participante en el mercado de la energía puede no ofrecer potencia en exceso a la carga virtual ni reducir la potencia a la carga virtual. En este ejemplo, no se ofrece flexibilidad después de la medianoche porque es un tiempo crítico en la carga de una batería de un vehículo. Desde luego, cada carga virtual será única y el propietario de la carga virtual es libre de imponer tal limitación de que la flexibilidad no sea ofrecida en horas particulares.

Hay principalmente dos razones para limitar la temporización y cantidad de la flexibilidad ofrecida. Primero que todo, estos límites incrementan la confiabilidad de la flexibilidad ofrecida. En efecto, cuando siempre se ofrece la cantidad máxima de flexibilidad hay una probabilidad de no ser capaz de entregar lo que se promete. Como consecuencia, habría penalidades. En segundo lugar, solamente se ofrece flexibilidad cuando se puede operar la carga fácilmente (de nuevo para potenciar la robustez y confiabilidad de la predicción). Por ejemplo, una batería de un vehículo eléctrico de iones de litio estándar se carga a un nivel de potencia constante hasta que está casi llena momento en el cual el nivel de potencia decae exponencialmente. Puesto que es mucho más difícil de programar exponencialmente el decaimiento de consumo de potencia, solamente ofrecemos flexibilidad cuando la batería está en el estado de potencia constante.

Una curva de referencia puede ser creada de muchas maneras diferentes. En un ejemplo, los datos históricos de las cargas individuales pueden ser revisados con el fin de construir una curva de referencia para la carga virtual. En otra implementación, la curva de referencia es calculada con base en las predicciones de los consumos de energía individuales junto con un argumento estadístico para minimizar la incertidumbre de la curva de referencia.

#### Ejemplo de interfaz del usuario

Como se mencionó en la figura 6, un participante en el mercado de la energía tendrá acceso a una interfaz de usuario innovadora (típicamente a través de una aplicación en la Red que corre sobre el sistema 160 de control) lo que permite que el participante ejecute transacciones de energía utilizando la carga virtual. Ventajosamente, la interfaz del usuario presenta contornos superior e inferior para niveles de potencia por intervalo de tiempo indicando hasta qué grado la carga virtual está disponible para consumir potencia en exceso o está disponible para manejar una reducción en potencia dentro de las restricciones de todas las cargas individuales. Estos niveles de potencia son relativos a la curva de referencia nominada de la carga virtual. La interfaz de usuario así: permite que el participante en el mercado de la energía programe flexibilidad en una cartera grande de cargas visualmente, recalculé dinámicamente estos contornos cuando se hace una transacción de energía, y lleve a cabo compensaciones de energía a través del período de tiempo si es necesario. Desde luego, una interfaz de usuario puede ser implementada de muchas maneras diferentes y la invención no está limitada a la interfaz de usuario de ejemplo mostrada aquí. Siempre que se programe flexibilidad, los contornos son capaces de cambiar dinámicamente.

La figura 15 ilustra una tabla 575 de flexibilidad creada por la presente invención después de recibir la curva de referencia para la carga virtual. La tabla es una interfaz de usuario que un comerciante en energía puede utilizar para ejecutar transacciones para la carga virtual dentro de un período de tiempo particular (tales como, un día de 24 horas). Típicamente, el horizonte de tiempo mostrado es "hoy" y "mañana", puesto que las transacciones de electricidad se hacen un día adelante y las correcciones suceden dentro del día.

- La tabla de flexibilidad muestra una fila 570 que muestra cada intervalo de tiempo del periodo de tiempo en cuestión (típicamente la programación del día siguiente de energía nominada al día anterior por el propietario de la carga virtual). En este ejemplo en particular, cada intervalo de tiempo es 1 hora, aunque cada hora puede ser expandida para mostrar en detalle los incrementos de 15 minutos dentro de cualquier hora particular. Una fila 571 de flexibilidad es una porción de entrada de la interfaz de usuario que permite que un comerciante especifique precisamente la cantidad de potencia (esto es, más potencia o menos potencia) que él desea que la carga virtual use durante un intervalo de tiempo particular. Una fila 572 presenta una lista de valores para un contorno superior de potencia que puede ser escogido por el comerciante durante un intervalo de tiempo particular, y una fila 573 presentan una lista de valores para un contorno inferior que puede ser escogido.
- Nótese que las cantidades en contorno de potencia que pueden ser comercializadas son relativas a la curva de referencia de la carga virtual. Por convención, cantidades positivas en los contornos indican potencia que la carga virtual puede dejar de hacer, mientras que las cantidades negativas indican potencia que la carga virtual puede tomar. En otras palabras, un valor negativo en la columna 573 indica una cantidad máxima de sobrepotencia y por encima de lo cual existe en la curva de referencia que la carga virtual puede tomar para un intervalo particular. Para un intervalo de tiempo dado los contornos pueden tener valores positivos (indicando que a la carga virtual se le puede pedir consumir menos energía), ambos contornos pueden tener valores negativos (indicando que a la carga virtual se le puede pedir consumir más energía), o, el contorno superior puede ser positivo y el contorno inferior puede ser negativos (indicando que la energía puede ser reducida o incrementada dentro de los contornos especificados).
- Un comerciante en energía, u otro usuario de la interfaz, puede ver otras porciones del día desplazándose a través de los intervalos de tiempo utilizando las flechas 577 o 578. Por ejemplo, al colocar el cursor sobre la flecha 577 se desplegarán los intervalos de tiempo para el día desde la medianoche hasta la 1:00 pm que normalmente no son mostrados.
- En este ejemplo, la tabla ha sido creada después de la nominación de la curva de referencia por el propietario de la carga virtual, y muestra una representación de la tabla antes de que cualquier transacción haya sido ejecutada por el comerciante de energía. De acuerdo con lo anterior, la fila 571 de flexibilidad media contiene todos los ceros porque un comerciante de energía no ha escogido aún hacer ninguna transacción durante esos intervalos de tiempo. En el intervalo de tiempo entre 6:00 pm y 7:00 pm (indicado por la columna por debajo del numeral 18), la tabla indica que un comerciante puede forzar a la carga virtual para reducir su consumo de potencia en tanto como 1 MW, o puede forzar a la carga virtual para consumir tanto como 0,76 MW más de potencia, todo con respecto a la curva de referencia original. La tabla también muestra que hay flexibilidad en la carga virtual para consumir menos potencia 574 entre las horas de 6:00 y 10 pm, y para consumir más potencia 576 entre las horas de 6:00 pm y medianoche. La región 579 está en blanco puesto que no se han ejecutado aun transacciones.
- Antes de cualquier intervalo de tiempo particular (en efecto, incluso unos pocos minutos antes), un comerciante puede ejecutar una transacción de energía (dictando que la carga virtual consuma más potencia o consuma menos potencia) para ese intervalo de tiempo en particular o para cualquier intervalo de tiempo posterior. Una vez que se introducen los niveles de potencia en la fila de flexibilidad, y la transacción está confirmada, el sistema procederá entonces a llevar a cabo la compensación de energía y el recálculo de los contornos superior e inferior tal como se describe más adelante.
- La figura 16A ilustra la misma tabla de flexibilidad después de que un comerciante en energía ha ejecutado una transacción. En algún momento antes de las 6:00 pm el comerciante en energía ha entendido que tiene un desbalance en su cartera y que tiene un déficit de aproximadamente 1 MW, por ejemplo. De acuerdo con lo anterior, el entiende que durante el intervalo de tiempo a las 6 pm hay flexibilidad en la carga virtual y que la carga virtual es capaz de aceptar una reducción en potencia en una cantidad tal como 1 MW. (desde luego, durante el mismo intervalo de tiempo la carga virtual también es capaz de consumir tanto como 0,76 MW, pero esa flexibilidad no es de interés para el comerciante en este punto particular del tiempo). De acuerdo con lo anterior, el comerciante introduce un valor 581 de 1.00 en la fila de flexibilidad en el intervalo de tiempo de 6 p.m. y oprime la tecla de retorno. El sistema valida que este valor está entre los niveles superior e inferior de potencia aceptables para la carga virtual durante este intervalo de tiempo y entonces lleva a cabo la compensación de energía y el recálculo de contornos con el fin de desplegar la tabla de flexibilidad como se muestra.
- Debido a que el comerciante ha pedido a la carga virtual que consuma 1 MW menos de potencia a las 6 pm, la compensación de energía dicta que la carga virtual debería consumir 1 MW equivalente más de potencia durante cualquiera de los otros intervalos de tiempo posteriores durante ese periodo de tiempo. (puesto que la transacción fue ejecutada justo antes de las 6 pm, los intervalos de tiempo antes de las 6 pm, y el intervalo de tiempo de 6:00 pm mismo no están disponibles para la compensación de energía). De acuerdo con lo anterior, el sistema automáticamente asigna transacciones 583 de energía de -.20 durante el tiempo de 7 pm hasta medianoche. Esto significa que durante este periodo de tiempo de 5 horas, se pedirá a la carga virtual que consuma 1 MW más de



potencia. El sistema también lleva a cabo automáticamente el recálculo de los niveles de potencia mínimo y máximo en las filas 572 y 573, aunque en este ejemplo simple el recálculo no da como resultado ningún cambio.

5 Considerando otro ejemplo en el cual ocurriría un recálculo, si el comerciante también fuerza la carga virtual para consumir 1 MW menos de energía de 7 pm hasta 8 pm, también, entonces será imperativo que la carga virtual (en este caso, ordenadores portátiles) reciba el requerimiento de consumir solamente más energía después de las 8:00 pm. De acuerdo con lo anterior, los contornos superior e inferior sólo mostrarán números negativos, indicando que el comerciante de energía está restringido para forzar solamente la carga virtual a consumir más energía durante estos intervalos de tiempo. En otras palabras, si el comerciante de energía va a forzar los ordenadores portátiles para operar sin una cierta cantidad de potencia antes de las 8 pm, el comerciante de energía estará restringido a dar solamente más potencia a los ordenadores portátiles después de las 8 pm. No se permitirá al comerciante de energía (debido a las condiciones de contorno recalculado) programar menos potencia para los ordenadores portátiles después de las 8:00 pm. De esta manera, la presente invención considera todas las restricciones de las cargas individuales (y de la carga virtual) en tiempo real justo después de que se hace una transacción de energía, lleva a cabo la compensación y recálculo de la energía, y presenta una interfaz de usuario actualizada al comerciante de energía reflejando una vista en tiempo real de cuales transacciones de energía están disponibles por lo tanto durante un período de tiempo dado para la carga virtual.

La figura 16B ilustra gráficamente 579 la fila 571 de flexibilidad de la figura 16A. Puesto que la flexibilidad está representada con respecto a la curva de referencia original, la curva de referencia es mostrada como una línea 585 recta. Cualquier cambio a esa curva indica que más o menos potencia (con respecto a los niveles de potencia originales escogidos) será usada por la carga virtual. De acuerdo con lo anterior, la región 587 muestra gráficamente que a las 6 pm el comerciante de energía ha escogido o requerido que la carga virtual use 1 MW menos de potencia. La región 589 muestra el efecto de compensación de energía en el cual la carga virtual usara 1 MW más de potencia durante los últimos intervalos de tiempo.

Desde luego, el comerciante puede escoger cualquier intervalo de tiempo para una transacción de energía, puede requerir que una carga virtual consuma más energía, puede seleccionar más de un intervalo de tiempo para transacciones de energía, y puede ajustar valores de compensación en la fila de flexibilidad una vez que el sistema los coloca allí. Una vez que la compensación y el recálculo de energía han sido llevados a cabo automáticamente y los resultados son presentados en la tabla de flexibilidad al usuario, el comerciante de energía puede actuar sobre su transacción deseada presionando el botón "hacer transacción". El sistema programa entonces estos cambios de potencia a la carga virtual como se discutió más arriba. Por ejemplo, si la curva de referencia pide 4 MW de potencia para ser consumidos en un intervalo de tiempo particular, y el comerciante disminuye esa cantidad en 1 MW, el algoritmo envía una programación a la carga virtual que pide los 3 MW durante ese intervalo. Desde luego, la convención puede ser cambiada y la programación puede indicar un valor de -1 MW el cual es combinado entonces con el valor de la curva de referencia.

35 La figura 17A ilustra una tabla de flexibilidad utilizada por un participante en el mercado de la energía o un comerciante de energía para hacer transacciones de energía utilizando la presente invención. Ambas porciones representan de alguna manera la curva de referencia nominada de la carga virtual desde el día previo y su flexibilidad. La tabla de flexibilidad ilustra durante el día cómo el comerciante de energía puede hacer transacciones de energía en tiempo real utilizando la flexibilidad de potencia de la presente invención.

40 La tabla de flexibilidad muestra una fila 590 que muestra cada intervalo de tiempo del período de tiempo en cuestión (típicamente la programación del día siguiente de potencia nominada el día previo por el propietario de la carga virtual). En este ejemplo particular, cada intervalo de tiempo es 1 hora, aunque cada hora puede ser expandida 594 para mostrar en detalle los incrementos de 15 minutos dentro de cualquier hora particular. Una fila 591 de flexibilidad es una porción de entrada de la interfaz del usuario que permite que un comerciante especifique con precisión cuál cantidad de potencia (esto es, más potencia o menos potencia) el desea que la carga virtual use durante un intervalo de tiempo particular una fila 592 presente una lista de valores para un contorno superior o la cantidad máxima de una reducción en potencia que puede ser escogida por el comerciante durante un intervalo de tiempo particular, y una fila de 593 que presenta una lista con valores para un contorno inferior, o la cantidad máxima de un incremento en potencia que puede ser escogida. Nótese que los contornos superior e inferior de potencia que pueden ser comercializados son relativos a la curva de referencia de la carga virtual.

Aunque la tabla de flexibilidad ilustra un ejemplo del mundo real en el cual se ha hecho una transacción particular (explicada adicionalmente más adelante), se presta en si misma a otras interpretaciones que pueden ser utilizadas para propósitos de ilustración. Por ejemplo, considérese que algún tiempo después de la nominación de la curva de referencia, pero antes de la hora de 9:00 pm, el comerciante en energía nota un desbalance en su cartera y desea ayudar a balancear su cartera ejerciendo flexibilidad en la carga virtual (esto es, forzando a la carga virtual consumir más potencia o utilizar menos potencia en ciertos intervalos de tiempo). El intervalo de tiempo que comienza a las 9 pm muestra que la flexibilidad en potencia de la carga virtual es 1.16 MW (menos potencia) y 0.92 MW (más

potencia). La convención usada es que los números positivos indican cuánta menos potencia puede ser forzada la carga virtual a utilizar, mientras los números negativos indican cuanta potencia extra puede ser forzada sobre la carga virtual. Estos valores son relativos a la curva de referencia original de la carga virtual. Por ejemplo, la curva de referencia indica que a las 9:00 pm, por ejemplo, que la carga virtual esta predicha para consumir 1.16 MW. Por lo tanto, el valor de flexibilidad máximo a las 9:00 pm (la cantidad de potencia que la carga virtual puede ser forzada a reducir) es exactamente 1.16 MW, puesto que la carga virtual no puede ser forzada a consumir potencia menor de cero.

De acuerdo con lo anterior, antes de que el comerciante de energía haga la transacción antes de las 9 pm, la entrada en la fila 591 de flexibilidad es un blanco al intervalo de tiempo de las 9:00 pm y sus valores mínimos y máximos son números positivos. Esto indica que mientras que el comerciante en energía puede forzar a la carga virtual para utilizar menos energía dentro de un cierto rango, no puede pedir a la carga virtual que consuma más energía. El comerciante de energía decide forzar la carga virtual para usar exactamente 1.12 MW de menos potencia en el intervalo de tiempo entre 9:00 y 9:15 pm, e introduce ese número en la fila 591 de flexibilidad. Cualquier número introducido que no esté entre los valores de 0.92 y 1.16 será rechazado por la interfaz del usuario.

Una vez que este valor es introducido y aceptado por la interfaz del usuario la invención lleva a cabo automáticamente una compensación de energía (redistribuyendo una cantidad igual de energía durante otros intervalos de tiempo dentro del mismo período) y automáticamente recalcula los contornos superior e inferior durante el período de tiempo. La compensación y recálculo de energía serán discutidos en más detalle más adelante. En otro ejemplo, considérese el intervalo de tiempo a las 10 pm. Los contornos para una transacción de energía están entre 0 y -.50, indicando que el comerciante puede forzar a la carga virtual a consumir más energía hasta una cantidad de 0.5 MW.

En la actualidad, en algún momento antes de 9:00 pm, el comerciante de energía ha introducido los valores de -.3 y -.2 para los intervalos de tiempo a las 10 pm y las 11 pm. Esto indica que los ordenadores portátiles de la carga virtual serán forzados a consumir más energía más tarde en la noche. Intuitivamente, se entiende entonces que los ordenadores portátiles consumirían menos energía más temprano en la tarde. La presente invención maneja esta situación llevando a cabo una compensación de energía. Automáticamente, una vez que estos valores son introducidos y comercializados (algunas veces antes de las 9 pm), la compensación automática de energía dicta que la carga virtual consumirá menos energía en los intervalos de tiempo entre 9:00 pm y 9:30 pm introduciendo automáticamente los valores 1.12 y 0.97 en la fila 591 de flexibilidad correspondiente a estos intervalos de tiempo. Esto significa que los ordenadores portátiles deben usar menos energía más temprano en la tarde. También, la compensación de energía cambia los valores de la fila de flexibilidad durante el intervalo de tiempo de 9:30 a 10 pm. Los valores en la fila de flexibilidad desde las 9:00 hasta la medianoche todavía suman cero porque la energía usada a las 10 pm, por ejemplo, representa un valor de una hora de potencia, mientras que la energía utilizada a las 9:45 pm, por ejemplo, representa 15 minutos de potencia.

Además de la compensación de energía, el sistema recalculará automáticamente los contornos superior e inferior para todos los intervalos de tiempo después de las 9:00 pm de acuerdo con lo anterior, nótese que durante el tiempo de 9 pm a 9:30 pm no es posible ahora que el comerciante de energía fuerce la carga virtual para consumir más energía; en efecto, la carga virtual puede ser forzada solamente para consumir menos energía en cantidades apenas grandes. Desde luego, todos los números en las diferentes filas desde las 9 pm hasta las 10 pm pueden colapsar en un número individual que representa el intervalo de tiempo de una hora a las 9:00 pm, esto es, la interfaz del usuario también provee la capacidad de reducir la cantidad de información presentada por el listado del consumo de potencia y contornos por intervalo horario. Puesto que todos estos datos están expresados en términos de potencia, los números mostrados cuando se utiliza la vista horaria son simplemente el promedio de los números individualmente mostrados en todos los cuartos.

La figura 17B es una representación gráfica de las transacciones y compensación de la figura 17A. La gráfica refleja la tabla de flexibilidad más arriba y muestra gráficamente el efecto correspondiente sobre la flexibilidad por la decisión del comerciante antes de las 9 pm para ajustar los intervalos de tiempo a las 10 pm y las 11 pm

La gráfica también puede ser utilizada para explicar de una manera diferente la compensación de energía que ocurre después de que se hace una transacción. Asíumase por el momento que después de la de la nominación de la curva de referencia, pero antes de las 9 pm (un comerciante en energía puede hacer una transacción concerniente al período de tiempo a las 9 pm, hasta justo unos pocos minutos antes de ese tiempo), un comerciante de energía desea utilizar flexibilidad de la carga virtual con el fin de hacer una región 599 concerniente a transacción (10:00 pm hasta 12 am). De acuerdo con lo anterior, la región 599 ilustra que el comerciante de energía ha dictado que la carga virtual utilizará más potencia de 10 pm hasta las 12 pm como se muestra con la energía representada en la región 599. Como será discutido en mayor detalle más adelante, la compensación de energía típicamente ocurre para balancear esta cantidad mayor de energía consumida con una cantidad correspondientemente menor de energía consumida en algún lugar más durante ese periodo de tiempo para la carga virtual. De acuerdo con lo

- anterior, la presente invención dicta automáticamente que la carga virtual consumirá menos energía como se muestra en la región 598 que se extiende desde las 9:00 pm hasta las 9:30 pm. La cantidad de energía reducida a la carga virtual en la región 598 es equivalente a la cantidad de energía consumida en la región 599. Como se discutió más arriba no hay excepciones a este requerimiento de que una transacción de energía para una carga virtual deba siempre ser compensada por una cantidad igual de energía negativa durante el período de tiempo en cuestión.
- 5 Finalmente, aparte de la interfaz visual de usuario toda la funcionalidad puede hacerse disponible de otras maneras así que permitirá más fácilmente la automatización. En otro ejemplo, la carga virtual puede ser programada utilizando un API que es programáticamente accesible desde internet. Los datos y objetivos son comunicados utilizando una representación estandarizada tal como XML o JSON.
- 10 Creación de tabla de flexibilidad
- Con el fin de crear una tabla de flexibilidad que represente una carga virtual para presentación en la interfaz de usuario a un participante en el mercado de la energía, será útil tener la curva de referencia nominada de la carga virtual para el siguiente período de tiempo (típicamente, el día siguiente) y las condiciones de contorno para cada intervalo de tiempo.
- 15 La figura 18 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual se determinan las condiciones de contorno para la tabla de flexibilidad. En general, es útil comenzar con la curva de referencia para la carga virtual. Hay diferentes maneras de producir esta curva de referencia. En el caso simple cuando la carga virtual consiste de una carga individual, los datos históricos para esta carga individual pueden ser revisados con el fin de determinar una curva de referencia para esa carga para un día dado. Incluso cuando la carga virtual consiste de muchas
- 20 cargas, los datos históricos para cada carga individual pueden ser combinados con el fin de desarrollar una curva de referencia para la carga virtual completa.
- En otro ejemplo, los datos históricos pueden ser combinados con los datos de predicción para el día siguiente con el fin de producir la curva de referencia. Por ejemplo, una revisión de los datos históricos podría revelar una correlación con la temperatura externa (en el caso de un almacén frío). Si la temperatura externa puede ser predicha para el día siguiente, la temperatura puede ser usada para producir la curva de referencia, incluso si esa temperatura no es vista en los datos históricos y se requiere de extrapolación.
- 25 Las etapas 602 y 604 describen un método más automatizado para producir una curva de referencia para la carga virtual. En la etapa 602 se produce un modelo de carga virtual calibrado. Un modelo para la carga virtual puede ser construido combinando los modelos de carga para las cargas individuales en combinación con los resultados de la función de valor global que ha sido resuelta en la etapa 520. La maximización de la función de valor global produjo una función de entrega para determinar cómo una cantidad de energía asignada a la carga virtual sería distribuida a cada una de las cargas individuales, y para determinar los parámetros de control y sus valores necesarios para alcanzar esas energías individuales para las cargas individuales. En tanto la cartera de carga no cambie, el modelo de carga virtual sigue siendo el mismo excepto para una recalibración regular de los modelos de carga individuales.
- 30 Un modelo de carga individual calibrado significa que todas las variables del modelo son valores dados que son compatibles con los datos históricos. Esto significa primero que todo que los modelos de carga individuales son actualizados de tal manera que tanto la dinámica del modelo como la estadística del usuario son correctas. Además, la función de valor global en general contiene también términos que describen el valor de la flexibilidad. Estos términos incluyen parámetros usados en la modelación, por ejemplo, estadísticas del valor del mercado de la flexibilidad. La actualización de estos parámetros también es parte del proceso de calibración.
- 35 Una vez producido, el modelo de carga virtual calibrado aceptará como entrada restricciones y sus valores, los posibles parámetros de control para todas las cargas individuales, el estado de cada carga individual y posibles parámetros y valores de predicción para las cargas individuales. Por ejemplo, la temperatura del día siguiente puede ser un parámetro de predicción utilizado con un almacén frío para ayudar a predecir la potencia que requerirá para el día siguiente. Opcionalmente, los datos históricos también pueden ser introducidos en el modelo de carga virtual. En la etapa 604 el modelo de carga virtual calibrado puede ser utilizado como es sabido para una persona experimentada en la técnica para generar mejor información relevante para el día siguiente con el fin de producir una curva de potencia, o curva de referencia, para la carga virtual.
- 40 En la etapa 608 la curva de referencia puede ser modificada opcionalmente de maneras diferentes para hacerla más predecible. Esta modificación se hace utilizando limitaciones de preagregación como se describieron anteriormente. Las curvas de referencia no predecibles, esto es predicciones de demanda de potencia inexactas, producen confiabilidad menor en la flexibilidad disponible. Una modificación es agrupar el consumo de energía en el tiempo con el fin de hacer esa porción de la curva de referencia más predecible. Por ejemplo, como se discutió más arriba, la curva de referencia puede ser modificada requiriendo que la potencia pueda ser consumida solo a ciertas horas,
- 45
- 50

por ejemplo, solamente permitiendo que los ordenadores portátiles comiencen a cargarse a las 6 pm, eliminando así la incertidumbre en el consumo de potencia antes de las 6:00 pm. También, la curva de referencia puede ser modificada dictando que la flexibilidad de energía no esté disponible durante ciertas horas, esencialmente, limitando la ventana de flexibilidad en tiempo. El resultado global de estas modificaciones es incrementar la predictibilidad de la curva de referencia, proveyendo así confianza en la flexibilidad en una hora particular incrementando el valor de esa flexibilidad. Estas modificaciones pueden ser introducidas agregando restricciones fuertes adicionales (sintéticas) de la carga virtual, lo que requiere que la flexibilidad no esté disponible en ciertos momentos.

Como se mencionó anteriormente, la preagregación se hace para mejorar la exactitud de las predicciones tanto del consumo de energía (curva de referencia) como de la flexibilidad de energía. En general, la pre-agregación puede hacerse como sigue. Utilizando la distribución de estados de carga iniciales (como se introdujeron anteriormente) calculamos bandas de error sobre el consumo de energía y flexibilidad disponible de la carga virtual. Usando la función de valor global, calculamos el coste esperado incurrido en una previsión equivocada del estado inicial de cada carga para cualquier curva de referencia dada y cualquier flexibilidad dada. Minimizamos entonces ese coste para seleccionar la curva de referencia "preagregadas" óptima junto con la cantidad óptima de flexibilidad que se va a ofrecer.

En la etapa 612 el propietario de la carga virtual nombra la curva de referencia a su proveedor de energía (u otro participante en el mercado de la energía según sea apropiado) de tal manera que el proveedor de energía pueda tener esta curva de referencia en cuenta cuando nombre su propia curva de referencia de proveedor a un operador de sistema. Desde luego, la carga virtual puede nominar su curva de referencia directamente a un operador de sistema u otra entidad. Esta etapa también puede ocurrir en un momento posterior, o según se requiera por parte de un participante en el mercado de la energía.

La etapa 614 repite todos los intervalos de tiempo para el período de tiempo en cuestión para la carga virtual, ejecutando las etapas 616 y 620 un intervalo a la vez, inicialmente para calcular el contorno superior. La idea general es que se asuma que la energía total consumida por la carga virtual en cualquier período de tiempo dado debería ser constante; así, si la reducción de potencia va a ser maximizada en un intervalo de tiempo dado, entonces los otros intervalos de tiempo deben ser capaces de incrementar el consumo de potencia por el mismo valor máximo, y viceversa. De acuerdo con lo anterior, para un intervalo dado,  $i$ , con el fin de determinar el contorno superior (o cantidad máxima de potencia que la carga virtual podría ser forzada a no utilizar), la etapa 616 maximiza la potencia total capaz de ser consumida (según lo permiten todas las restricciones de todas las cargas) en todos los intervalos diferentes al intervalo  $i$ . Una vez que se determina un valor para la potencia máxima capaz de ser consumida, se asigna ese valor al contorno superior para el intervalo  $i$ .

Nótese que la curva de referencia no se usa fundamentalmente durante el cálculo anterior puesto que el procedimiento está enfocado solamente en la cantidad máxima/mínima de consumo de energía. Sin embargo, cuando representamos la flexibilidad, usamos la curva de referencia, puesto que toda la flexibilidad de potencia es expresada como relativa a la curva de referencia.

En una realización, la etapa 616 se lleva a cabo utilizando un proceso de búsqueda repetitivo para determinar la potencia máxima total. Pueden utilizarse otras técnicas tales como soluciones analíticas siempre que los modelos de carga subyacentes sean suficientemente simples. En una realización, la potencia total capaz de ser consumida es determinada creando programaciones de parámetros de control de acuerdo con valores de potencia posibles, evolucionando el sistema a lo largo del ciclo de carga completo (usando el modelo de carga), y verificando si en todos los tiempos, todas las restricciones están satisfechas.

Una vez que los contornos superiores han sido determinados para todos los intervalos de tiempo, los contornos inferiores (o cantidad máxima de potencia que la carga virtual podría ser forzada a consumir) para la tabla de flexibilidad se determinan en la etapa 624. La etapa 624 se ejecuta de manera similar a las etapas 614-620 excepto que en vez de maximizar la potencia consumida en todos los otros intervalos, la etapa 624 intenta maximizar la potencia capaz de ser reducida en todos los intervalos excepto para el intervalo de corriente. Una vez que la potencia máxima total capaz de ser reducida es determinada, entonces el contorno inferior se fija igual al valor del intervalo de tiempo corriente. Una vez que los contornos inferiores han sido fijados, entonces ambos conjuntos de condiciones de contorno son almacenadas en una base de datos para uso posterior o están listas para ser desplegadas dentro de la tabla de flexibilidad para el período de tiempo en cuestión.

Sin embargo, es posible que las condiciones pueden cambiar antes de que comience la transacción y que las condiciones de contorno necesiten ser recalculadas. Por ejemplo, es posible que una de las cargas individuales pueda caer por fuera de la cartera de la carga virtual, que un parámetro externo pueda cambiar (por ejemplo, la temperatura externa puede ser diferente de la esperada en el caso de un almacén frío), que una restricción pueda cambiar sobre las cargas, que la predicción cambie, u otras cargas puedan presentarse tal como el estado de carga

que difiere del esperado o su dinámica que difiere de la que el modelo prediría. En esta situación las condiciones de contorno pueden ser recalculadas ejecutando la etapa 602 y luego ejecutando las etapas 614-624.

5 Una vez que la curva de referencia ha sido obtenida y las condiciones de contorno superior e inferior han sido calculadas, puede crearse entonces una tabla de flexibilidad y desplegarse según se ilustra. Los intervalos de tiempo y todo el período de tiempo global serán conocidos en virtud de la curva de referencia, y la fila de flexibilidad media inicialmente será todo ceros puesto que no se han ejecutado todavía aun transacciones.

Ejecutar una transacción de energía

10 La figura 19 es un diagrama de flujo que describe una realización de actualizaciones automáticas que ocurren en la interfaz del usuario y cómo la potencia es programada cuando se ejecuta una transacción. Ejemplos de transacciones de energía se muestran en las figuras 16A, 16B, 17A y 17B. Ventajosamente, las condiciones de contorno son actualizadas y la compensación de energía ocurre automáticamente después de que se hace cada transacción. El tiempo de espera para actualizar la interfaz del usuario dependerá del portafolio de cargas y las redes de comunicación usadas. Por ejemplo, se predice que para 1.000.000 de ordenadores portátiles, o para 1.000  
15 almacenes fríos conectados a través de fibra óptica o en la internet, el tiempo de respuesta típicamente estará por debajo de 10 segundos.

20 En la etapa 704 se despliega una interfaz de usuario que muestra intervalos de tiempo durante un período de tiempo relevante (por ejemplo, el día actual, y/o el día siguiente), condiciones de contorno que muestran los niveles máximos para la potencia que se puede pedir a una carga virtual para consumir o reducir (según sea el caso), y regiones para entrada de potencia flexibles para cada intervalo de tiempo que puedan ser escogidas por un comerciante en energía. Ejemplos de interfaces de usuario adecuadas se muestran en las Figuras 15-17, aunque cualquier interfaz de usuario adecuada desplegada sobre la pantalla de un ordenador que permita una entrada del usuario sería aceptable.

25 En la etapa 708 un comerciante en energía entiende que hay un desbalance de su cartera de energía para un intervalo o intervalos de tiempo en particular, y decide aprovechar la potencia flexible ofrecida por la carga virtual. De acuerdo con lo anterior, el comerciante de energía selecciona un intervalo de tiempo en el cuál el desea que la carga virtual consuma más potencia o consuma menos potencia, y luego introduce un valor de potencia para ese intervalo particular. Hablando técnicamente, el comerciante introduce un número indicativo de un valor de potencia, implicando que la cantidad de energía consumida en el intervalo iguala la potencia por la longitud del intervalo.

30 En caso de un comerciante de energía que quisiese modificar los intervalos múltiples, puede hacerlo así secuencialmente. El comerciante de energía está restringido a solamente introducir un valor de potencia  $P(i)$  que cae dentro de los contornos superior e inferior para ese intervalo; una entrada inválida no es aceptada por el sistema. Dependiendo de las necesidades del comerciante de energía, y de los contornos superior e inferior actuales, el comerciante puede introducir un número positivo (indicando que la carga virtual consumiría menos potencia) o un número negativo (indicando que la carga virtual consumiría más potencia).

35 Una vez que la entrada es aceptada por el sistema ocurren entonces dos procesos secuencialmente. Primero que todo, en la etapa 716 el sistema ejecuta la compensación de energía ajustando valores de potencia en la fila de flexibilidad siempre que la cantidad sobrepasada de consumo de energía (esto es, el valor de potencia introducido por el comerciante) junto con la curva de referencia original no genere comportamiento de la carga virtual consistente con todas las condiciones de los contornos. En el caso más típico, los valores de compensación forzarán todo el consumo de energía modificado para sumar cero. Nótese que si el sistema acepta el intervalo de energía modificado (puesto que el valor está entre los contornos) sabemos automáticamente que el consumo de energía  
40 satisface todas las restricciones. Esto sucede en virtud de la construcción de las condiciones de contornos superior e inferior.

45 En la etapa 712 el sistema recalcula todas las condiciones de contornos superior e inferior para el período de tiempo completo teniendo en cuenta la energía programada (y compensada). Además de recalcular las condiciones de contorno durante una transacción, estas condiciones también pueden ser recalculadas cuando el estado de cambio de los recursos o cuando la carga virtual cambia. La etapa 624 provee más ejemplos. Una vez que estos dos procesos son completados, en la etapa 760 la interfaz de usuario despliega entonces al comerciante las nuevas condiciones de contornos y nuevos valores para potencia a lo largo del período de tiempo. A continuación  
50 asumiendo que el comerciante está satisfecho con los nuevos valores desplegados en la interfaz del usuario, el comerciante oprime el botón de "transacción" el cual es aceptado por el sistema en la etapa 764. En la etapa 768 estos nuevos valores de potencia son programados entonces para la carga virtual para el período de tiempo completo de acuerdo con la figura 13. Por ejemplo, los niveles de potencia requeridos en la etapa 540 serán ahora los nuevos valores de potencia para cada intervalo de tiempo en la fila de flexibilidad.

La figura 20 implementa la etapa 712 de la figura 19. De manera similar al bucle ejecutado en la figura 18 con el fin de fijar inicialmente las condiciones de contorno, la etapa 720 comienza definiendo un bucle sobre cada intervalo  $j$  dentro del período de tiempo, excepto para el intervalo  $i$  el cual es el intervalo que el comerciante de energía acaba de cambiar introduciendo un valor de potencia deseado. En esta etapa, se asume que la sola razón por la cual las condiciones de contorno han cambiado es la modificación del consumo de energía en intervalo  $i$ . Por lo tanto, las únicas condiciones de contorno significativas para este intervalo son las originales.

La etapa 724 intenta maximizar la energía consumida tal como se permite en todos los intervalos (excepto para los intervalos  $i$  y  $j$ ) y puede llevarse a cabo como se describió previamente en la etapa 616. Una vez que esta energía total consumida,  $P(\text{total})$ , la cual es una cantidad medida con respecto a la curva de referencia, ha sido determinada, en el etapa 728 el contorno superior para el intervalo  $j$  (esto es, la energía mínima que puede ser consumida a medida con respecto a la curva de referencia) se fija igual a  $-P(\text{total}) - P(i)$ , donde  $P(i)$  es la energía consumida en el intervalo  $i$  medido una vez de nuevo con respecto a la curva de referencia. Esta fórmula indica que la potencia total consumida dentro del período de tiempo tiene que permanecer constante. Como se anotó anteriormente, si las restricciones sobre el sistema son menos restrictivas, la fórmula anterior será remplazada de tal manera que las modificaciones en todos los intervalos no sumen cero sino la cantidad máxima que es permitida por las condiciones de contorno. En la etapa 732 los contornos inferiores para la tabla de flexibilidad son recalculados de manera similar como se hace para las etapas 720-728, y se modifican mediante la etapa 624 la cual originalmente fue utilizada para fijar las condiciones de contorno inferiores (esto es, maximizar la potencia total capaz de ser reducida). En el etapa 732 el contorno inferior para cada intervalo  $j$  también será fijado en  $-P(\text{total}) - P(i)$ . Esto es generalizado trivialmente cada vez que la energía es programada en intervalos múltiples.

La figura 21 implementa la etapa 716 de la figura 19. Como se explicó anteriormente, se utiliza la compensación de energía para asegurar que la energía consumida permanece constante para la carga virtual durante un periodo de tiempo dado excepto para el caso discutido anteriormente en el cual las restricciones permitían más libertad. En ese caso, la compensación podría ocurrir todavía siempre que sea más óptima (esto es, siempre que lleve a un valor más alto de la función de valor global).

Este diagrama de flujo puede dar como resultado cambios en la fila 571 de flexibilidad. En la etapa 740 el método comienza definiendo un conjunto actual de intervalos bajo consideración. Inicialmente, este conjunto de intervalos incluye todos los intervalos de tiempo dentro del período de tiempo excepto para el intervalo  $i$  el cual se acaba de modificar por parte del comerciante de energía. El negativo del valor de potencia seleccionado por el comerciante es dividido entonces homogéneamente entre todos los intervalos de tiempo dentro de este conjunto. A continuación, la etapa 744 inicia un bucle el cual repite todos los intervalos de tiempo  $j$  dentro un conjunto corriente de intervalos.

La etapa 748 es una condición que prueba si la porción de energía dividida recientemente asignada al intervalo  $j$  en la etapa 740 satisface todas las restricciones para todas las cargas dentro de la carga virtual. Esto se hace creando las programaciones del parámetro de control de acuerdo con esta nueva curva de referencia, evolucionando el sistema sobre el ciclo de carga completo (utilizando el modelo de carga) y verificando si en todos los momentos las restricciones son satisfechas.

Si todas las restricciones son satisfechas, entonces se ejecuta la prueba sobre el siguiente intervalo. Si no, entonces en la etapa 752 ese intervalo particular  $j$  es retirado del conjunto actual de intervalos bajo consideración y el control retorna a las etapas 740. Una vez más, el negativo del valor de potencia es dividido entonces entre este nuevo conjunto de intervalos bajo consideración y bucle que se inicia en 744 comienza de nuevo. Una vez todos los intervalos han sido procesados en la etapa 744 (y todas las restricciones han sido satisfechas) entonces la división final de valores de poder negativos que satisface todas las restricciones será asignada a cada uno de los intervalos en el conjunto actual y desplegado en la fila de flexibilidad en la etapa 760. Puesto que el valor de potencia escogido por el comerciante inicialmente en la etapa 708 cae dentro de las condiciones de contorno para el intervalo, se garantiza que 716 tendrá éxito y que será posible encontrar una solución mediante la cual los valores de energía de compensación serán asignados a intervalos diferentes al intervalo  $i$ .

En vez de intentar distribuir homogéneamente la energía remanente sobre los intervalos como se hace aquí durante la compensación, otra implementación distribuye la energía de tal manera que minimiza el impacto económico negativo sobre la cartera del participante en el mercado de la energía. Este impacto, una vez más, sería calculado utilizando la función de valor.

#### Reprogramación de potencia para cargas

La figura 22 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual ocurre la reprogramación dentro del sistema de gestión de energía. Una vez que la programación de la energía ha sido enviada a cada una de las cargas individuales dentro de la carga virtual puede ser importante monitorizar el consumo de potencia de cada carga con respecto a la programación corriente. Por ejemplo, el consumo de potencia para una carga que difiere de

- la que fue predicha originalmente por la carga será penalizado por un operador del sistema. Si un propietario de carga es capaz de monitorizar el consumo de potencia dentro de un intervalo, hacer correcciones y consumir potencia de acuerdo con la predicción original tanto como sea posible, se evitarán penalidades. La minimización de estas penalidades y la mejora de la exactitud de la programación corriente es deseable y se implementa utilizando el siguiente flujo. Nótese que este proceso de reprogramación es primariamente un procedimiento de control para asegurarse de que el consumo de energía dentro de un intervalo de tiempo es tan exacto como sea posible. Se han descrito otros procesos anteriores que llevan a cabo cálculos sobre el período de tiempo completo (tal como el recálculo de las condiciones de contorno).
- En la etapa 804 se entrega una programación de energía a la carga virtual y luego se distribuye a través de programaciones de carga individuales a cada una de las cargas dentro de la carga virtual usando las técnicas previamente descritas. La etapa 804 puede llevarse a cabo como parte de este flujo o puede haber sido ejecutada previamente. En cualquier caso, en este punto en el tiempo cada carga dentro de la carga virtual está ejecutando su programación corriente.
- En la etapa 808 se reciben datos de entrada de estado y potencia de todas las cargas dentro de la carga virtual mediante el sistema 160 de control. Estos datos pueden ser recibidos, por ejemplo, utilizando el hardware de control específico descrito más adelante o utilizando otra implementación con la red 170. Los datos de ingreso se reciben típicamente cada minuto, pero pueden ser recibidos con menos frecuencia o con mayor frecuencia. Cada carga informará de la cantidad de potencia que está siendo consumida actualmente por la carga, el valor de cualquier variable de estado de la carga, y los valores de cualesquiera otros parámetros externos u otras variables de interés. Las variables de estado son típicamente aquellas variables de estado usadas en el modelo de ordenador para cada carga individual; los valores de las variables de estado también pueden ser calculados a partir de otra información recibida en los datos de ingreso.
- En el caso de un almacén frío, la temperatura externa puede ser relevante en la determinación de por qué la potencia que está siendo consumida es diferente de la predicha. La temperatura externa puede ser diferente porque hay distorsión en este cálculo, una predicción pobre, un cambio en el clima, etc. En cualquier caso, hay una variedad de razones por las cuales una variable de estado o un parámetro externo pueden ser diferentes de lo pensado originalmente y esa diferencia puede afectar el consumo de potencia de la carga. De acuerdo con lo anterior, será útil corregir cualquier discrepancia.
- En la etapa 812 del consumo de energía total para la carga virtual se estima o determina para el intervalo de tiempo actual. En un mundo perfecto, cada carga de la carga virtual reportaría a tiempo su consumo de energía corriente en la etapa 808. Pero, algunas cargas pueden informar acerca de su consumo de energía tarde o pueden no estar en capacidad de informar por una variedad de razones. Para estas cargas que no tienen sus datos de consumo, este consumo de energía puede ser estimado extrapolando un nivel de consumo de energía utilizando consumos de energía reportados en periodos de informe previos utilizando el modelo de carga. En cualquier caso, una vez que los datos de consumo fuertes son recibidos desde cualquier número de cargas, y se estima el consumo de potencia para las cargas restantes ausentes, estos valores son sumados entre sí con el fin de proveer un estimativo del consumo de energía total para el intervalo de tiempo.
- En la etapa 816 se determina si este consumo de energía total está en línea con la programación actual (esto es, la curva de referencia original más cualquier transacción de energía hasta el momento) para la carga virtual. El total de la carga virtual se considera a medida que las desviaciones dentro de cada una de las cargas pueden cancelar cualquier otra. Si el consumo de energía para el intervalo de tiempo actual se desvía de la curva de referencia originalmente suministrada al proveedor de energía (incluyendo cualquier transacción) el propietario de la carga virtual puede incurrir en penalidades significativas. En general, el margen de error depende del mercado de energía particular. Una regla básica es que una desviación dentro de aproximadamente 10 kW hora no contaría para las penalidades. En general, sin embargo, la potencia se mide por partes independientes y puede ser comparada con la potencia predicha real, determinando de esa manera si hay una desviación que puede variar.
- Si el total está en línea, el control se mueve a la etapa 808 para esperar la recepción de nuevos datos de ingreso. Si no, luego en la etapa 820 diversos de los modelos de carga para cargas individuales son actualizados. Un modelo de carga será actualizado para una carga dada si su consumo de energía en el intervalo de tiempo varía significativamente frente al que fue predicho en la curva de referencia original para esa carga. Un modelo también puede ser actualizado si las variables de estado para esa carga no corresponden con la predicción del modelo, esto es, el modelo de carga no fue bien calibrado originalmente. Para determinar si el consumo de energía para una carga individual difiere de la original, se lleva a cabo una repetición sobre todas las cargas en la etapa 820 para determinar cuáles modelos de carga necesitan ser actualizadas. Esto se hace comparando el consumo de potencia predicho (esto es, aquel predicho por el modelo) con respecto al consumo de potencia ingresado real.

5 Para determinar si diversas variables de estado para cargas particulares son incorrectas las variables de estado predichas (esto es, las predichas por el modelo) son comparadas con las variables de estado ingresadas reales. Si las variables de estado para una carga particular, son significativamente diferentes de los datos de ingreso, entonces los parámetros de calibración son actualizados dentro del modelo de carga particular utilizando los valores más correctos a partir de los datos de ingreso. En un ejemplo, una batería puede estar cargándose más lentamente o más rápidamente que lo esperado y el estado interno de carga puede diferir de la variable de estado original usada en el modelo de carga. En esta situación, sería necesario actualizar este parámetro de calibración con un valor más correcto.

10 En una realización, el modelo de carga también se calibra de acuerdo con la etapa 602 descrita más arriba. Como se mencionó, la calibración del modelo de carga se ejecuta utilizando todas las condiciones y parámetros actualmente conocidos, dando como resultado un modelo de carga más exacto. Recalibrando las cargas en este momento en tiempo utilizando información actual (tal como la temperatura externa correcta, el estado interno correcto de carga de la batería, etc.) el modelo de carga se hará más exacto. La información actual habrá sido recibida en la etapa 808.

15 A continuación, la etapa 824 las programaciones de carga individual son recalculadas tal como se ha descrito más arriba. Por ejemplo, la potencia total seleccionada para la carga virtual dentro de cada intervalo de tiempo se distribuye a cada una de las cargas usando las técnicas descritas en la figura 13 en donde el modelo inverso para cada carga es usado para mapear la potencia para cada carga en los parámetros y valores de control correctos para el período de tiempo completo. Una ventaja del diagrama de flujo anterior es que se mejorarán las predicciones futuras porque ahora los modelos son mejor ajustados, y porque esto es un bucle de "autoaprendizaje", basado en datos observados. Además, incluso si ninguno de los modelos de carga tiene que ser actualizado, el cálculo de las programaciones de nuevo en la etapa 824 ayudará a compensar las equivocaciones de energía detectadas en la etapa 816. Por ejemplo, si se consumió demasiada energía durante la primera parte del intervalo de tiempo, el cálculo de la programación de nuevo producirá una programación que forzará a la carga a utilizar menos energía en la parte final del intervalo de tiempo, implicando menos uso de energía para la carga virtual. En otras palabras, no solamente es la falla en el consumo de energía fijado para el período de tiempo, si no el problema subyacente (una variable de estado incorrecta tal vez) fijada también. Por ejemplo, si la carga virtual usa 1 MWh en los primeros pocos minutos del intervalo de tiempo, y solamente 1.5 MWh fueron predichos para ser usados en ese intervalo, entonces cuando las programaciones se recalculen se suministrara un valor de 0.5 MWh al modelo de carga virtual y su parámetro de control para la energía remanente podrá ser usado en el intervalo de tiempo corriente. Esta técnica asegura que la carga virtual consumirá solamente esa cantidad de potencia que ha sido predicha en la curva de referencia original. Desde luego, las restricciones de carga pueden dictar que se debería consumir más potencia. Por ejemplo, si está mucho más caliente que lo esperado un almacén frío puede consumir más potencia que la predicha con el fin de mantener todo congelado.

35 Una vez que se calcula una nueva programación para cada carga, es posible que los últimos intervalos de tiempo tengan también su consumo de energía cambiado. Por ejemplo, en el caso de un almacén frío, si ha estado más caliente que lo esperado en la primera parte del intervalo de tiempo, el sistema puede compensar haciendo el almacén frío trabajar más fuerte y enfriarlo más en intervalos de tiempo posteriores. Desde luego, una vez que la programación es calculada y los valores de potencia cambian para intervalos de tiempo posteriores, el recálculo en las etapas 712 y 716 de las condiciones de contorno para estos últimos intervalos de tiempo ocurrirá y puede dispararse una compensación de energía cuando las condiciones de contorno sean suficientemente restrictivas.

#### Ejemplo de acoplamiento a sistemas de control locales

45 La figura 23 es un diagrama de bloques de un sistema 840 de control de ejemplo. Este sistema de control permite que el sistema 160 de control central entregue una programación de energía que incluye parámetros de control y sus valores a cargas individuales y recibir retroalimentación tal como datos de ingreso de un estado para cada carga. Desde luego, cualquiera de una variedad de implementaciones de hardware puede ser utilizada para controlar cargas individuales y para recibir retroalimentación. En general, el sistema 160 de control puede hacer interfaz con cualquier Sistema de Control Industrial (ICS) usado para aplicaciones industriales. Por ejemplo, la industria de gas natural hace amplio uso de sistemas de control industriales para la distribución de gas natural (típicamente denominados como sistemas de control de distribución), o para el control de turbinas de gas utilizadas para la generación de potencia.

55 El subsistema 842 es una posible implementación de una porción del sistema 160 de control que incluye el algoritmo y servidores de interfaz, un servidor histórico utilizado para mantener todos los datos ingresados (tales como variables de estado ingresadas, consumo de energía ingresado, otros eventos en el hardware o comunicación, etc.). Un servidor en tiempo real usado para procesar flujo de información y datos en tiempo real, un gestor de configuración para la red y configuración de comunicación, en cualquier hardware y software de ordenador adecuado para la plataforma y motor de proceso.



El subsistema 844 es una posible implementación de un puerto SCADA que incluye un regulador de historia para alarma de almacenamiento temporal y datos ingresados, un enrutador en tiempo real para enrutar el flujo de información entre los diversos componentes de la red, todos implementados sobre cualquier plataforma adecuada y motor de proceso. El subsistema 846 es una posible implementación de una plataforma y motor de proceso para procesamiento local de datos en el sitio. Se incluye un canal de alarma alternativo para alarmas de comunicación a través de canales de comunicación preferidos, un regulador de histórico, un control de datos en tiempo real, y cualquiera de una variedad de módulos de adquisición de datos que serán conocidos para los experimentados en el arte. El subsistema 848 incluye cualquier sistema de control industrial adecuado y sus partes componentes tales como servidores OPC usados para comunicación uniforme (conectados a dispositivos tales como PLCs, DCS, RTUs, o fuentes de datos tales como una base de datos), y traducción de los datos a un formato de OPC de base estándar, software SCADA para la adquisición de datos y control supervisor de las cargas, archivos de datos y bases de datos. En una realización particular, cada una de las plataformas del subsistema 842-846 puede ser implementada utilizando una metodología de arquitectura unificada UPC en la cual los clientes UA y los servidores son implementados sobre cada plataforma.

El intercambio de información con las cargas puede ser fijado utilizando un regulador local que gestiona el flujo de datos entre el sistema 160 de control central y cada sistema de control local (lo cual puede ser implementado utilizando un sistema SCADA o MES, un PLC, o simplemente un conmutador de potencia controlable). La configuración se hace sobre el sistema de control local de tal manera que se usan los parámetros de control óptimos (tal como se determinan en los métodos anteriores).

Extracción de flexibilidad de potencia de dispositivos conectados a internet

La Figura 24 ilustra un sistema 860 para gestión de energía de ejemplo para uso con los dispositivos conectados a internet. Se muestra una variedad de cargas eléctricas que incluyen un centro 862 de datos, cualquier número de ordenadores 864 de sobremesa, y cualquier número de dispositivos móviles tales como ordenadores portátiles, ordenadores en tableta, teléfonos móviles, etc. La energía eléctrica es consumida por todas estas cargas y estas cargas tienen todo el hardware y potencia de cálculo requeridos para ser capaces de monitorizar y controlar su consumo de energía. Además, puesto que están todos conectados a la misma red global, la agregación puede ser implementada corriendo un software sobre los servidores conectados a internet; esto forma una implementación particular del sistema de demanda - respuesta automatizada descrita más arriba. Para cargas eléctricas fijadas, tales como centros de datos, ordenadores de sobremesa y servidores, estas cargas generalmente serán conectadas a una fuente de electricidad y su proveedor de electricidad será conocido, haciendo fácil llevar a cabo la agregación en una carga virtual como se describió más arriba. Para dispositivos móviles, el direccionamiento de la potencia está disponible cuando estos dispositivos están conectados a una fuente de potencia (típicamente cuando se recarga la batería), y el proveedor de electricidad para estos dispositivos puede referirse a una residencia o negocio en particular, o puede ser determinado como se describió más arriba. Desde luego, un centro de datos también puede ser manejado como se discutió más arriba en el contexto de una carga industrial.

Esta implementación usa los sistemas y métodos descritos más arriba con el fin de maximizar la flexibilidad de potencia de cada carga, agregar estas cargas en una carga virtual individual y luego hacer que la potencia y la flexibilidad de la carga virtual estén disponibles a través de una interfaz de usuario.

Una etapa inicial es determinar un conjunto de restricciones, parámetros y valores de control para cada carga tal como se discutió más arriba. Para estos tipos de dispositivos de cálculo determinamos, por carga, un conjunto de procesos que pueden ser programados. Estos procesos son caracterizados por un perfil de duración y consumo de potencia dado y tienen que obedecer diversas restricciones del usuario. Para centros de datos incluyen: procesos de respaldo; tareas de migración de un centro al otro (por ejemplo, requerimientos de Red para balanceo de carga); y creación dinámica de instancias múltiples de una aplicación sencilla. Para ordenadores de sobremesa estos incluyen: correr un barrido de virus; imprimir documentos; y desfragmentar discos duros. Para dispositivos portátiles estos procesos incluyen recargar la batería e interrumpir la corriente de la red cuando el dispositivo tiene potencia suficiente para trabajar sobre su batería. Para todos estos procesos (los cuales pueden ser compartidos entre categorías de dispositivos) determinamos sus restricciones, perfil de potencia e impacto (potencial) sobre el tiempo de vida del hardware. También, para estos dispositivos, determinamos toda la amortiguación de energía que ellos tienen presente. Para centros de datos esto pueden ser generadores diesel usados para respaldo, con un tiempo de rampa específico y un tiempo de ejecución máximo. Para ordenadores portátiles u otros dispositivos móviles, el regulador puede ser provisto por una batería.

A continuación, utilizando el flujo de la figura 9, por ejemplo, determinamos cuáles de estos procesos pueden ser usados para maximizar la flexibilidad de la carga. En efecto, los procesos listados más arriba se traducen en restricciones, parámetros y valores de control que pueden ser utilizados para direccionar el consumo de potencia del dispositivo. Cada carga tendrá restricciones (por ejemplo, un barrido de virus sobre un ordenador de sobremesa debería suceder cada lunes entre 8 a.m. y 7 p.m.), y parámetros y valores de control deberían fluir a partir de estas

restricciones tales como el inicio de un barrido contra virus, pausa en el mismo, y terminación del barrido. Un modelo de carga o perfil de potencia indica cuánta potencia extra es requerida (o cuánta potencia es reducida) cuando se ejecuta un proceso (o cuando se detiene), por ejemplo, un barrido para virus requiere ser 0.8 Wh que pueden ser movidos en el tiempo.

5 Una vez que las cargas, sus procesos y parámetros de control han sido definidos, estas cargas pueden ser agregadas entonces en una carga virtual más grande como se discutió más arriba. Utilizando un término apropiado en la función de valor global, la técnica puede programar procesos de tal manera que potencie cualquier predictibilidad de las necesidades de potencia de la carga virtual. Por ejemplo, la técnica puede incluir solamente una fracción de todos los barridos para virus disponibles en la flexibilidad total para evitar el riesgo de la irrupción de un virus en el ordenador que dispare grandes cantidades de barridos no esperados y extraiga potencia. Esto se integra en la función de valor agregando un término de penalidad que sopesaría la cantidad de ordenadores que no son capaces de correr un barrido para virus (porque están programados en una transacción de flexibilidad) con la probabilidad de la aparición de un virus en el ordenador.

10 Una realización de esta implementación utiliza un módulo de software conectado descargable de la Red que puede ser instalado en un ordenador de sobremesa, ordenador portátil o teléfono móvil que comunica con el sistema 160 de control con el fin de permitir que el sistema de control central adquiera datos, haga agregación optimizada y direccionamiento de potencia. Esta conexión tiene diversas funcionalidades. Una interfaz de usuario muestra un conjunto de acciones de control y adquisición de datos que deberían ser permitidos con el fin de que la carga ofrezca flexibilidad de potencia al sistema de control. Esta interfaz de usuario también permite que el usuario introduzca restricciones de usuario acerca de estas acciones y procesos capaces de ser controlados. Una vez que estos procesos, restricciones y parámetros de control son introducidos, la carga entra en línea y puede ser utilizada como parte de una cartera de dispositivos conectados a internet cuya potencia programable es agregada para uso por los participantes en el mercado de la energía.

15 Otra funcionalidad es la implementación de los diferentes modelos usados durante la programación de los diferentes procesos de cálculo. Estos modelos incluyen: un modelo de datos para estimar la cantidad de datos necesarios para cada proceso; un modelo de cálculo para estimar la duración de cada proceso (dada la cantidad de datos); un modelo de potencia para predecir la cantidad de potencia consumida por un proceso dado (dada su duración); y un modelo de comportamiento de usuario para definir las restricciones sobre cada proceso. Esta conexión también permite un ingreso de consumo de potencia a lo largo del día para fijación posterior. La conexión también tiene la capacidad de comunicar los resultados de cada modelo al sistema de control para procesar los datos, recibir programaciones de energía desde el sistema de control, y ejecutar estas programaciones de energía para implementar los procesos programados.

20 En el caso de un dispositivo móvil, tal como un ordenador portátil, el ordenador portátil recibe su potencia de su batería o de la red, por lo tanto la batería actúa como un regulador local. La conexión monitoriza el estado de carga de la batería y uso de potencia, y así al ordenador portátil se ofrece una carga flexible, que puede ser desconectada de la red cuando se es demandado por el software de control. La conexión también puede permitir al usuario escoger un proveedor de energía particular a través de la localización del dispositivo, una localización por sistema, etc. Para centros de datos, sistema de control interactuaría típicamente con un software de gestión dedicado del centro de datos y direccionaría ese software utilizando los parámetros de software de gestión de API.

25 Extracción de flexibilidad de potencia a partir de una carga de gas natural

La Figura 25 ilustra un ejemplo de una carga 880 de gas natural que puede tener su flexibilidad de demanda de gas gestionada utilizando técnicas del sistema de gestión de energía discutidas más arriba. Asúmase una caldera 882 alimentada con gas que mantiene un volumen 884 grande de agua en un cierto intervalo de temperatura (esto es, restricciones de temperatura). El gas natural llega 886 desde la red de distribución de gas, es abierto o cerrado por una válvula 888 de gas controlada remotamente, y es encendido utilizando un ignitor 890 automático. El agua caliente sale en 892 con el fin de proveer residencias o procesos industriales. Otras restricciones o estados pueden incluir la cantidad de agua dentro del recipiente, la presión dentro del recipiente, la cantidad de agua que está siendo entregada a través de la tubería 892, etc. El control de esta carga es equivalente a controlar un almacén frío excepto que el estado interno es enriquecido con parámetros que caracterizan el flujo de gas en el quemador. El sistema de control central puede interrumpir el flujo de gas o reabrir el flujo de gas, haciendo esta carga flexible, teniendo en cuenta las restricciones de temperatura.

Realización de sistema de ordenador

Las figuras 26A y 26B ilustran un sistema 900 de ordenador adecuado para implementar realizaciones de la presente invención. La figura 26A muestra una posible forma física del sistema de ordenador. Desde luego, el sistema de ordenador puede tener muchas formas físicas, incluyendo un circuito integrado, una tarjeta de circuito

integrado, un dispositivo de mano pequeño (tal como un teléfono móvil o PDA), un ordenador personal o un súper ordenador. El ordenador también podría ser un sistema virtualizado como lo es típicamente el caso en arquitecturas en la nube. El sistema 900 de ordenador incluye un monitor 902, una pantalla 904, una carcasa 906, un disco duro 908, un teclado 910 y un ratón 912. El disco 914 es un medio legible por ordenador utilizado para transferir datos a y desde el sistema 900 de ordenador.

La figura 26B es un ejemplo de un diagrama de bloques para el sistema 900 de ordenador. Unido al bus 920 de sistema hay una amplia variedad de subsistemas. Los procesadores 922 (también denominados como unidades de procesamiento central, o CPUs) están acoplados para almacenar dispositivos que incluyen memoria 924. La memoria 924 incluye memoria de acceso aleatorio (RAM) y memoria sólo de lectura (ROM). Como es bien sabido en el arte, la ROM actúa para transferir datos e instrucciones unidireccionalmente a la CPU y la RAM se utiliza típicamente para transferir datos e instrucciones de manera bidireccional. Ambos de estos tipos de memorias pueden incluir cualquiera de los medios legibles por ordenador descritos más abajo. Un disco fijo 926 también está acoplado bidireccionalmente a la CPU 922; provee capacidad de almacenamiento de datos adicional y también puede incluir cualquiera de los medios legibles por ordenador descritos más abajo. El disco 926 fijo puede ser utilizado para almacenar programas, datos y similares y es típicamente un medio de almacenamiento secundario (tal como un disco duro) que es más lento que el almacenamiento primario. Será evidente que la información retenida dentro disco 926 fijo, puede, en casos apropiados, ser incorporada de manera estándar como memoria virtual en la memoria 924. El disco 914 removible puede tomar la forma de cualquiera de los medios legibles por ordenador descritos más abajo.

La CPU 922 también está acoplado a una variedad de dispositivos de entrada/salida tal como la pantalla 904, el teclado 910, el ratón 912 y los altavoces 930. En general, un dispositivo de entrada/salida puede ser cualquiera de: pantallas de vídeo, bolas de seguimiento, ratones, teclados, micrófonos, pantallas sensibles al tacto, lectores de tarjetas transductoras, lectores de cintas magnéticas o de papel, tabletas, copiadore, reconocedores de voz o escritura, lectores biométricos, u otros ordenadores. La CPU 922 puede ser acoplada opcionalmente a otro ordenador o red de telecomunicaciones utilizando la interfaz 940 de red. Con tal interfaz de red, se contempla que la CPU podría recibir información de la red, o podría generar información a la red en el transcurso de la ejecución de las etapas del método antes descritas. Adicionalmente, las realizaciones del método de la presente invención pueden ejecutar solamente sobre la CPU 922 o pueden ejecutar sobre una red tal como la internet en conjunción con una CPU remota que comparte una porción del procesamiento.

Además, las realizaciones de la presente invención se relacionan adicionalmente con productos de almacenamiento de un ordenador con un medio legible por ordenador que tenga códigos de ordenador en el mismo para ejecutar diversas operaciones implementadas por ordenador. Los medios y código de ordenador pueden ser aquellos diseñados y contruidos especialmente para los propósitos de la presente invención, o pueden ser de la clase bien conocida y disponible para aquellos que tengan experiencia en las artes de software para ordenador. Ejemplos de medios legibles por ordenador, pero no se limitan a: medios magnéticos tales como discos duros, discos flexibles y cintas magnéticas; medios ópticos tales como CD-ROM y dispositivos holográficos; medios magnetoópticos tales como discos flópticos; y dispositivos de hardware que están especialmente configurados para almacenar y ejecutar códigos de programa, tales como circuitos integrados de aplicación específica (ASICs), dispositivos lógicos programables (PLDs) y dispositivos ROM y RAM. Ejemplos de códigos para ordenador incluyen código de máquina, tales como los producidos por un compilador, y archivos que contienen códigos de nivel más alto que son ejecutados por un ordenador utilizando un intérprete.

Nótese que en caso de que se use un servidor virtual, muchos de los componentes mencionados más arriba serían simulados por el software de virtualización. Como ejemplo, la CPU del sistema virtual es una pieza de software que delegaría las tareas de ordenador a una CPU física sobre la máquina que corre el software de virtualización de una manera predefinida.

Aunque la invención anterior ha sido descrita en algún detalle para propósitos de claridad de entendimiento, será evidente que pueden practicarse ciertos cambios y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones anexas. Por lo tanto, las realizaciones descritas serian tomadas como ilustrativas y no restrictivas, y la invención no estaría limitada a los detalles dados aquí sino que sería definida por las siguientes reivindicaciones.

Reivindicaciones

1. Un método para maximizar una flexibilidad de potencia de una carga de energía, comprendiendo dicho método:  
 recibir restricciones (404) de carga que indican condiciones bajo las cuales dicha carga de energía sería operada, no funcionando dicha carga de energía cuando dichas restricciones de carga no son satisfechas;
- 5 recibir un conjunto (408) de parámetros y posibles valores de control que controlen la operación de dicha carga de energía y afecten el uso de potencia de dicha carga de energía;  
 recibir un modelo (414) de ordenador de dicha carga de energía, generando dicho modelo dicho uso de potencia de dicha carga de energía en respuesta a cambios en entradas a dicho modelo;
- 10 recibir una función (420) de valor que tiene un término que indica un cambio en el uso de energía como función de dichos parámetros de control para dicha carga de energía durante intervalos de tiempo de un período de tiempo;  
 maximizar dicha función (424) de valor usando dicho modelo de ordenador, maximizando dichas restricciones de carga y dichos parámetros de control la diferencia entre un consumo de energía máximo de dicha carga de energía permitido dentro de dichas restricciones de carga y un consumo de energía mínimo de dicha carga de energía permitido dentro de dichas restricciones de carga durante dichos intervalos de tiempo; y
- 15 generar un subconjunto de dichos parámetros (430) de control resultante de la maximización de dicha función de valor, siendo dicho subconjunto capaz de operar dicha carga de energía entre dicho consumo de energía máximo y dicho consumo de energía mínimo dentro de dichas restricciones de carga mientras maximiza dicha carga en el uso de la energía.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicha carga de energía consume electricidad o gas natural.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:  
 entregar una programación de energía a dicha carga (452) de energía incluyendo dicho subconjunto de dichos parámetros y valores de control con el fin de controlar dicha carga de energía dentro de dichas restricciones de carga durante dichos intervalos de tiempo dentro de dicho periodo de tiempo.
- 25 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3 en donde dicha programación de energía es dictada por un participante en el mercado de energía externo y un control externo de un propietario de dicha carga de energía.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 3 en donde dicha programación de energía provee energía a dicha carga de energía entre dicho consumo de energía máximo y dicho consumo de energía mínimo.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:
- 30 maximizar dicha función de valor repitiendo todas las combinaciones de dicho conjunto de parámetros de control usando dicho modelo de ordenador con el fin de producir dicho cambio en uso de energía para dichos intervalos de tiempo.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicha función de valor incluye también un término económico que indica un impacto económico de controlar dicha carga de energía usando un primer conjunto de dichos parámetros de control.
- 35 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:  
 maximizar dicha función de valor tomando un operador de expectativa sobre una distribución de estados de carga permitidos.
9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:
- 40 maximizar dicha función de valor repitiendo todas las combinaciones de dichos parámetros de control y maximizando la expresión

$$E [\sum_i \Delta E_i / E_{\text{pico}} - \rho]$$

en donde E es un operador de expectativa,  $\Delta E_i$  está dicha diferencia dado un estado de carga durante un intervalo de tiempo  $i^\circ$ ,  $E_{pico}$  es un consumo de energía máximo de dicha carga de energía en un intervalo de tiempo  $i^\circ$  usado para hacer dicha diferencia adimensional, y  $\rho$  es un impacto económico de controlar dicha carga de energía.

- 5 10. Un método para maximizar una flexibilidad de potencia de una carga (490) de energía virtual que representa una pluralidad de cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real, comprendiendo dicho método:
- 10 recibir una pluralidad de funciones (512) de valor, representando cada función de valor una de dichas (480, 482, 484, 486, 487, 488) cargas de energía real incluyen un término que describe la diferencia entre un consumo de energía máximo de dicha una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales permitido dentro de dichas restricciones de carga y un consumo de energía mínimo de dicha una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales permitida dentro de dicha restricciones de carga sobre una pluralidad de intervalos de tiempo dentro de un período de tiempo;
- 15 recibir un conjunto de restricciones (504) de carga para cada una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales, no funcionando cada una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía cuando su dicho conjunto de restricciones de carga no es satisfecho;
- 15 recibir un conjunto (508) de parámetros y posibles valores de control para cada una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales;
- 20 recibir un modelo de ordenador para cada una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales, generando cada modelo de ordenador un uso de potencia de cada una de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales en respuesta a cambios en entradas a dicho cada modelo;
- 20 recibir una función (516) de valor global que representa dicha carga (490) de energía virtual que incluye dichas funciones de valor;
- 25 resolver dicha función (520) de valor global con el fin de maximizar un cambio potencial en el uso de energía sobre dichos intervalos de tiempo para todas dichas cargas de energía reales usando dichos modelos de ordenador, dichos conjuntos de restricciones de carga y dichos conjuntos de parámetros de control; y
- 25 generar (524), para cada carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real un porcentaje de un nivel de energía para ser entregado a dicha carga de energía virtual durante uno de dichos intervalos de tiempo, estando dividido el nivel de energía completo entre dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales,
- 30 en donde cada conjunto de parámetros de control es capaz de operar dicha carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real correspondiente entre dicho consumo de energía máximo y dicho consumo de energía mínimo de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real correspondientes.
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dichas cargas de energía reales consumen electricidad o gas natural.
- 35 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende adicionalmente:
- 40 distribuir dicho nivel de energía sobre dicha carga (490) de energía virtual programando dichos porcentajes de dicho nivel de energía sobre dichas cargas de energía real (480, 482, 484, 486, 487, 488); y
- 40 operar cada conjunto de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real durante uno de dichos intervalos de tiempo usando dicho porcentaje de dicho nivel de energía.
- 45 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicha función de valor global incluye también un término económico que representa el valor de la flexibilidad de potencia de dicha carga (490) de energía virtual a un participante en el mercado de energía particular que es externo y a un control externo de dichos propietarios de dichas cargas de energía reales.
- 50 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicha función de valor global incluye también un término económico que es una función decreciente con respecto al tiempo de respuesta necesario para programar la carga (490) de energía virtual.
15. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicha función de valor global incluye también un término económico que representa una cantidad de uso de energía de dicha carga (490) de energía virtual que

puede ser desplazado desde un primer intervalo de tiempo en el cual la energía es más costosa a un segundo intervalo de tiempo en el cual la energía es menos costosa.

5 16. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicha función de valor global incluye también un término económico que representa un negativo de volatilidad de uso de energía de dicha carga (490) de energía virtual sobre dichos intervalos de tiempo, en donde cuanto mayor sea dicha volatilidad menor es un valor de dicha función de valor global.

10 17. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicha función de valor global incluye también un término económico que incluye una pluralidad de valores económicos cada uno de un diferente participante en el mercado de energía.

18. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende adicionalmente:

15 Maximizar cada una de dichas funciones de valor buscando exhaustivamente todos los posibles valores de parámetros de control y maximizando la expresión

$$E [\sum_i \Delta E_i / E_{\text{pico}} - \rho]$$

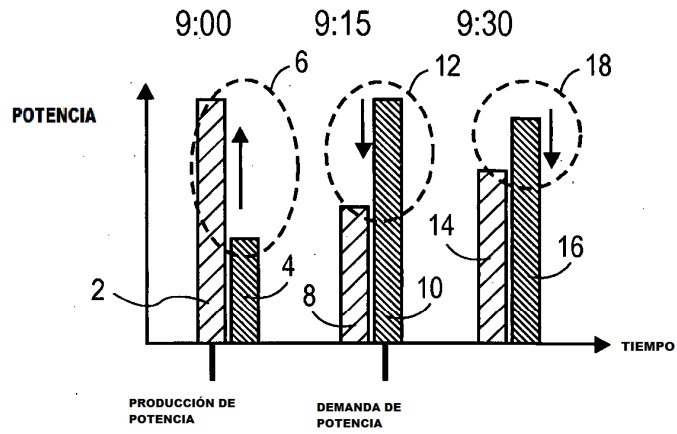
20 en donde E es un operador de expectativa,  $\Delta E_i$  es dicha diferencia dado un estado de carga virtual durante un tiempo  $i^0$ ,  $E_{\text{pico}}$  es un consumo de energía máximo de dicha carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía en un intervalo de tiempo  $i^0$  usado para hacer adimensionales dichas diferencias, y  $\rho$  es un impacto económico de controlar dicha cada carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía.

25 19. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales están en localizaciones distribuidas geográficamente y tienen diferentes propietarios.

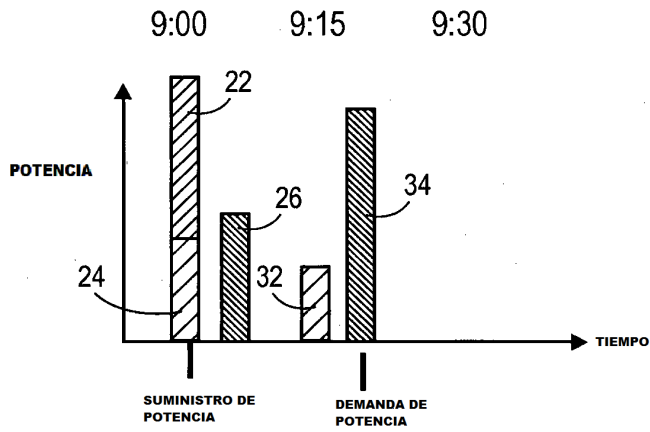
30 20. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicho nivel de energía es dictado por un participante en el mercado de la energía externo y un control externo de dichos propietarios de dichas cargas (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía reales.

21. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 en donde dicho porcentaje de un nivel de energía para dicha cada carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real está entre dicho consumo de energía máximo y dicho consumo de energía mínimo de dicha cada carga (480, 482, 484, 486, 487, 488) de energía real.

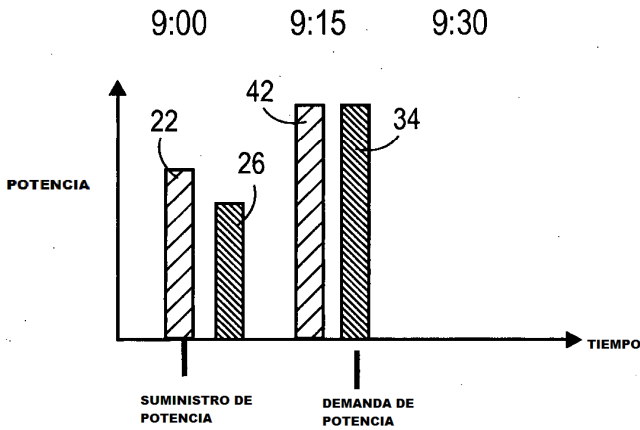
**FIG. 1**  
( ARTE PREVIO )



**FIG. 2**  
( ARTE PREVIO )



**FIG. 3**  
( ARTE PREVIO )



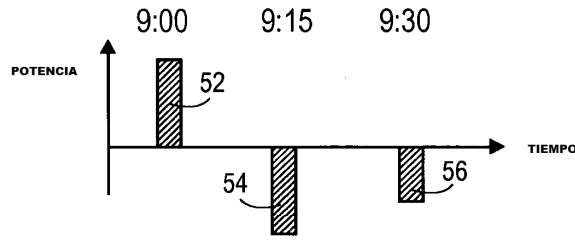


FIG. 4A

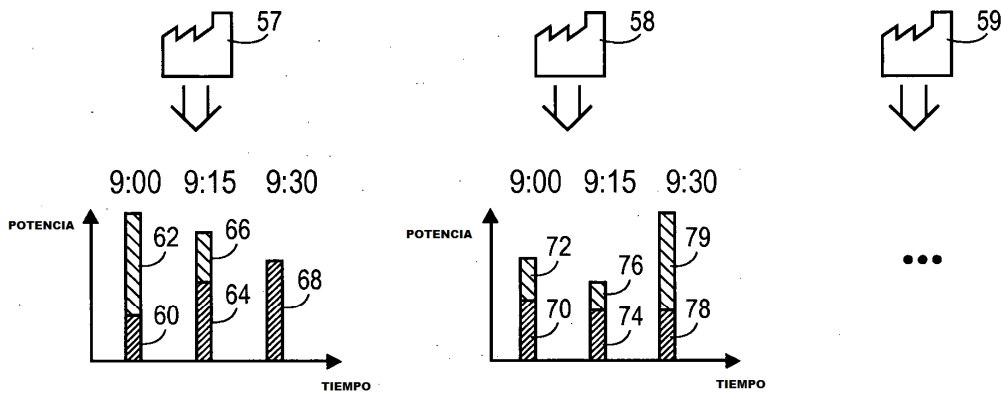


FIG. 4B

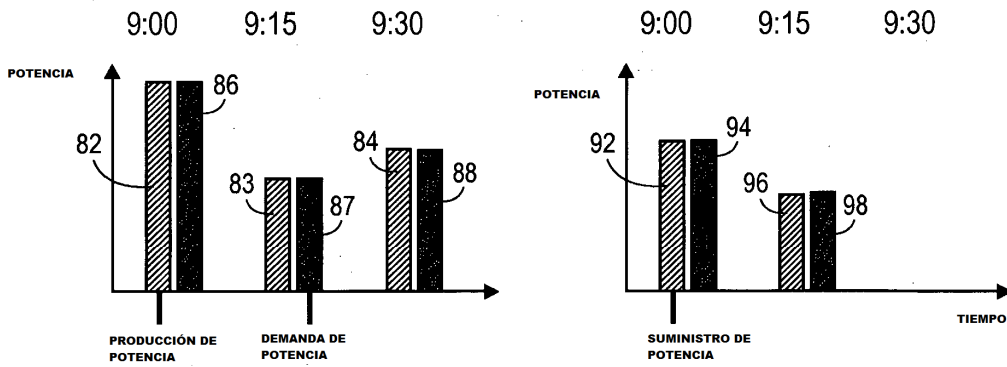
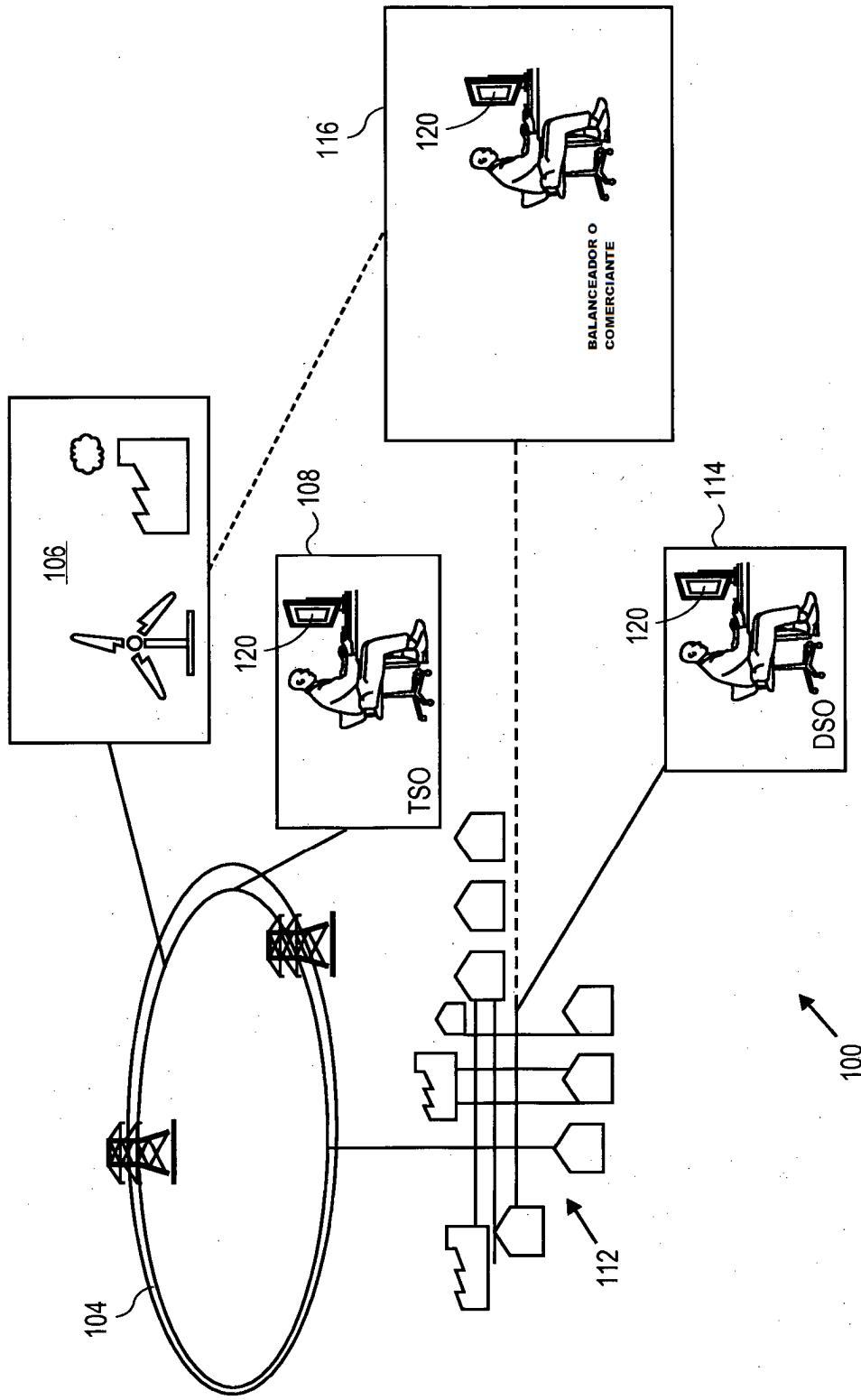


FIG. 4C

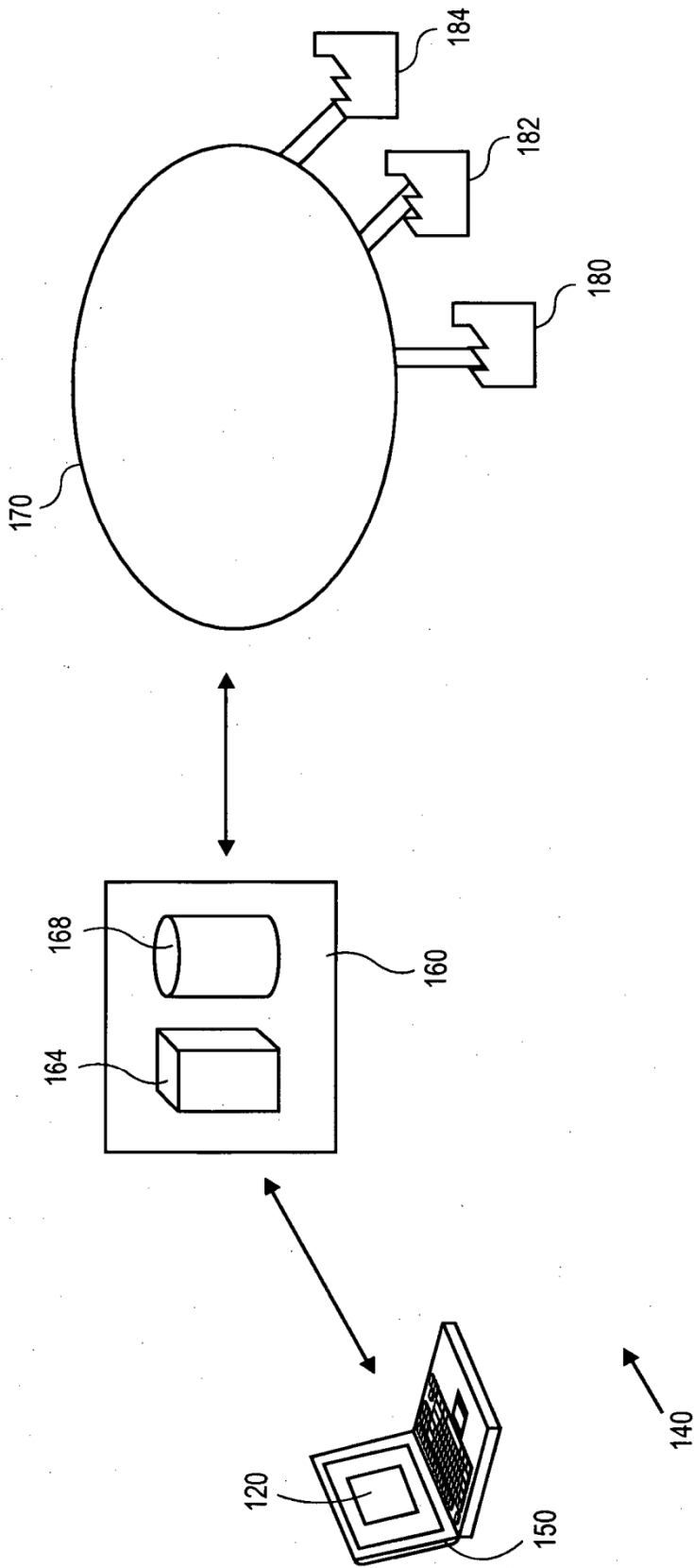
FIG. 5



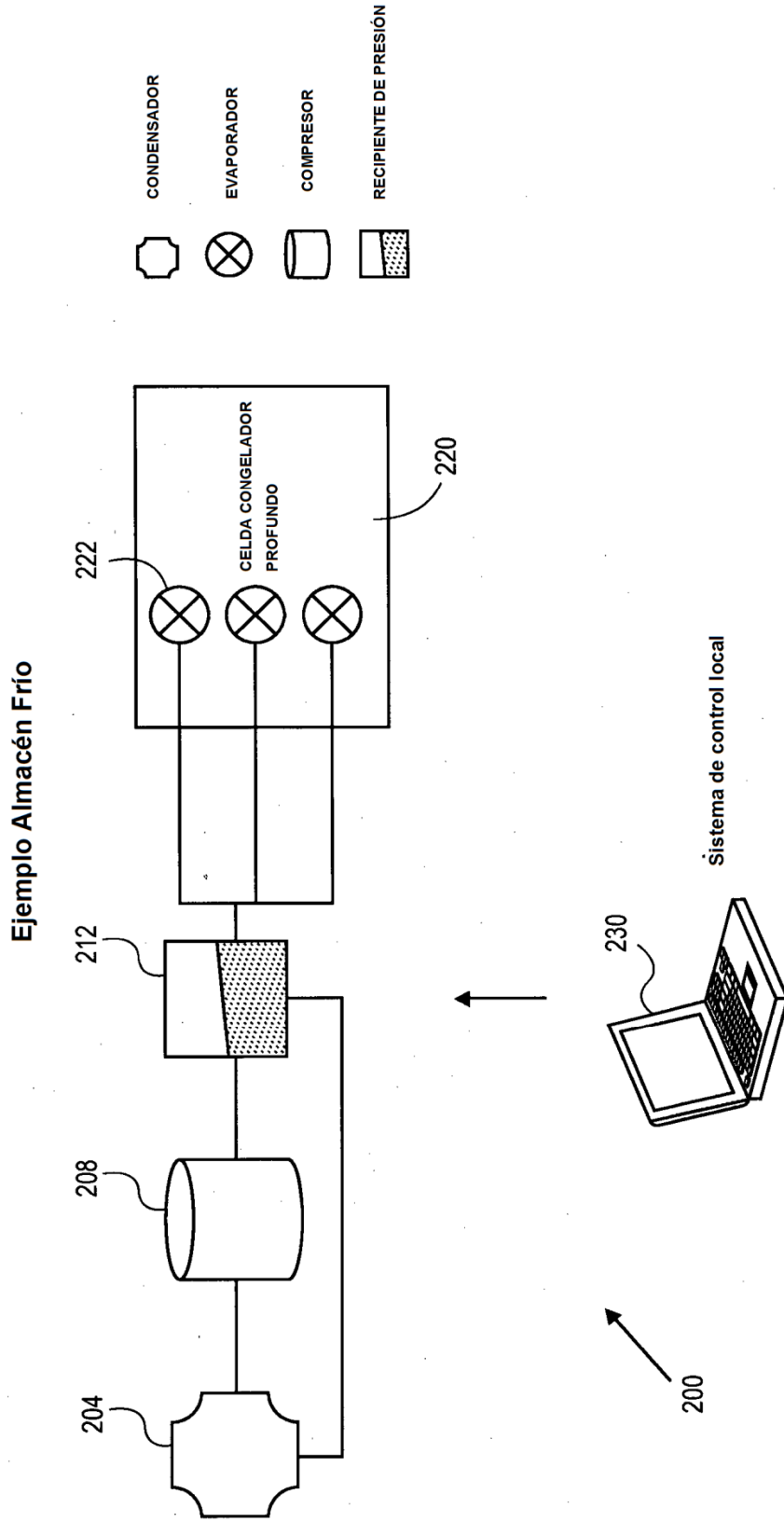


**FIG. 6**

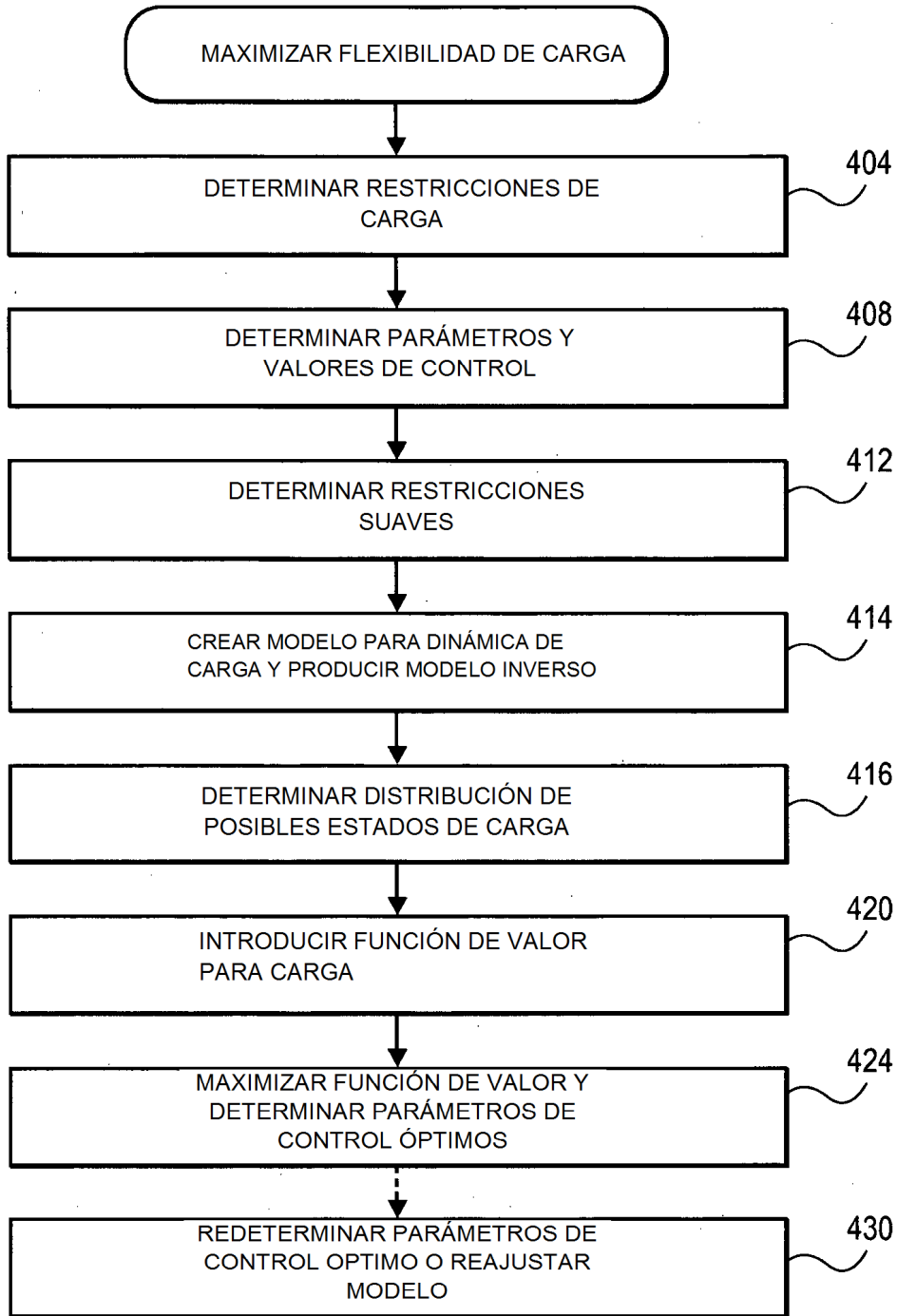
Sistema de gestión de Energía



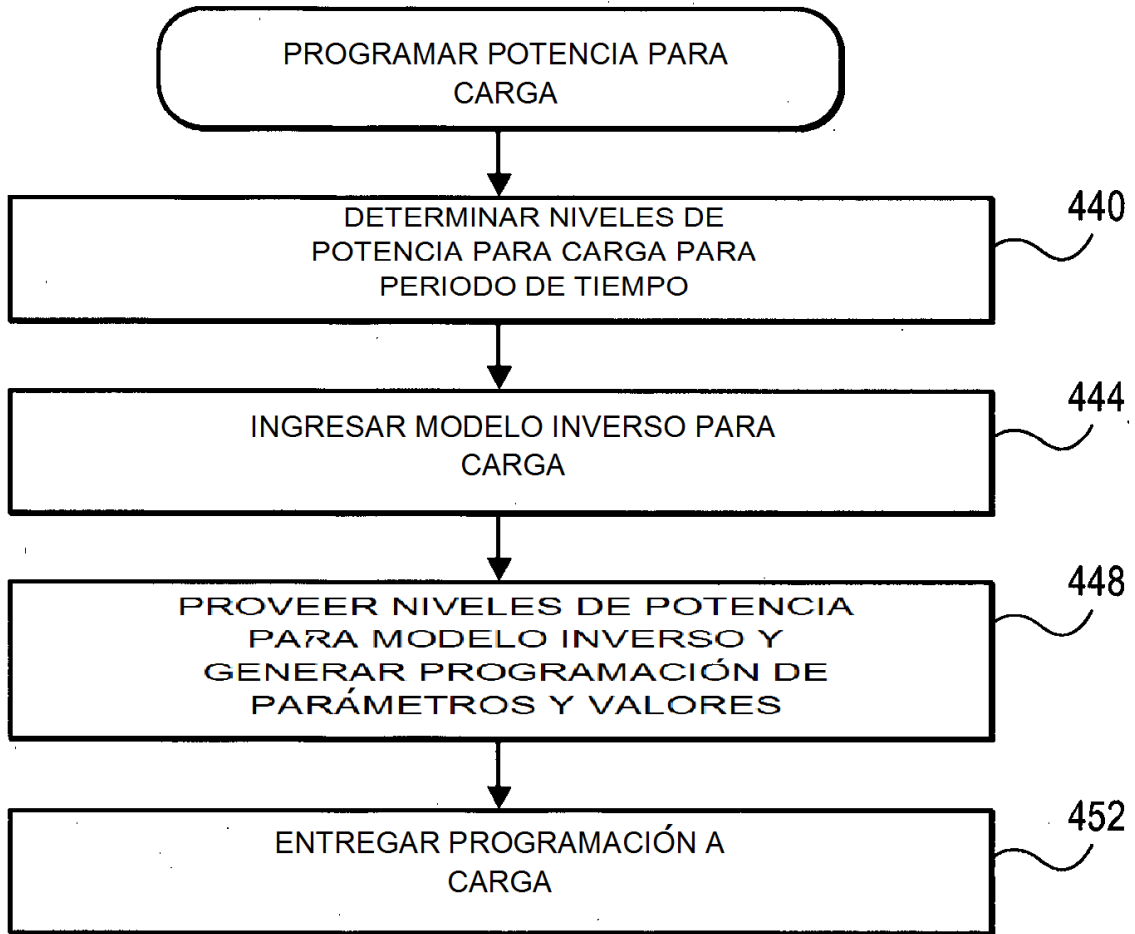
Red de Comunicación  
**FIG. 7**



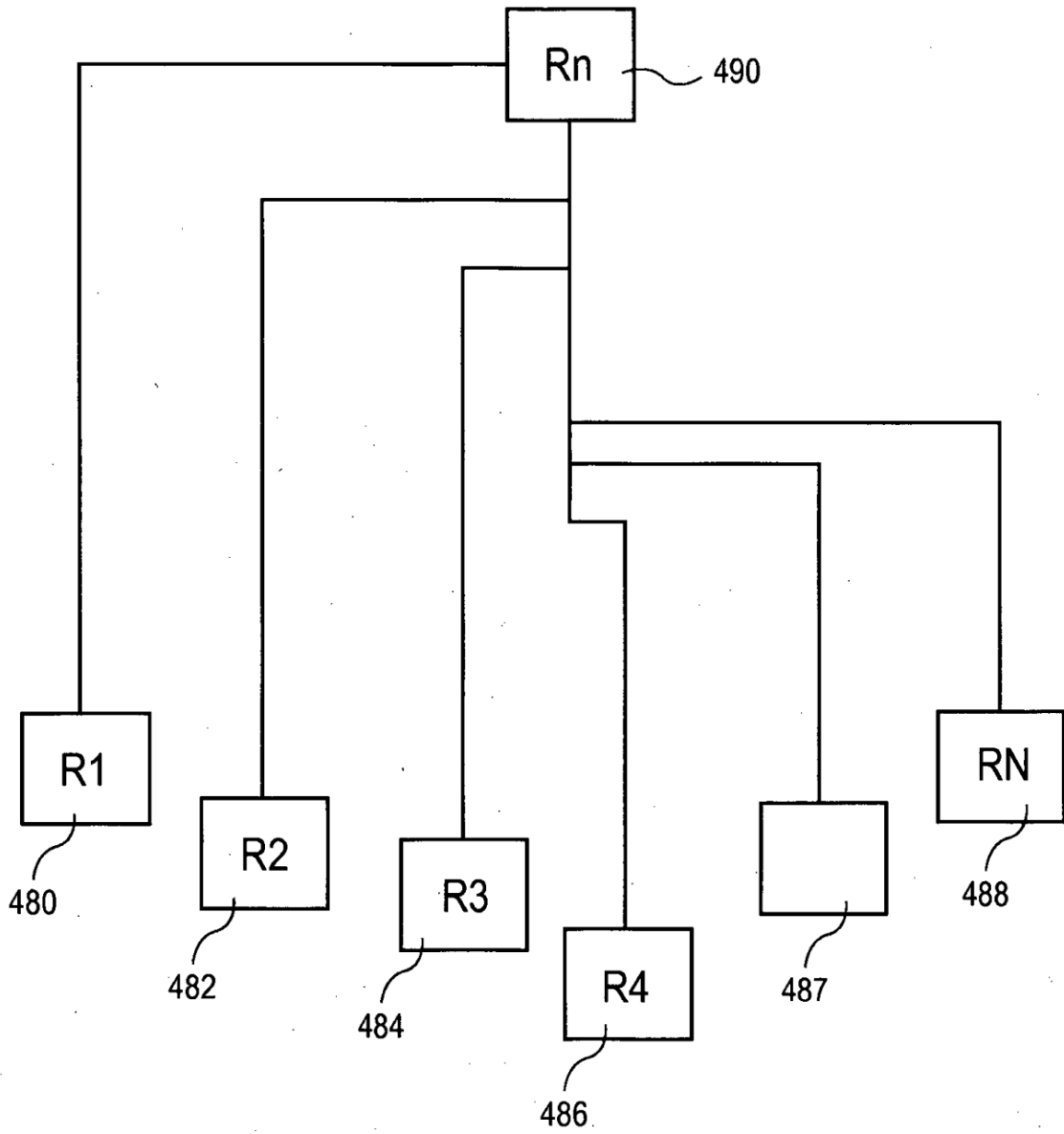
**FIG. 8**



**FIG. 9**

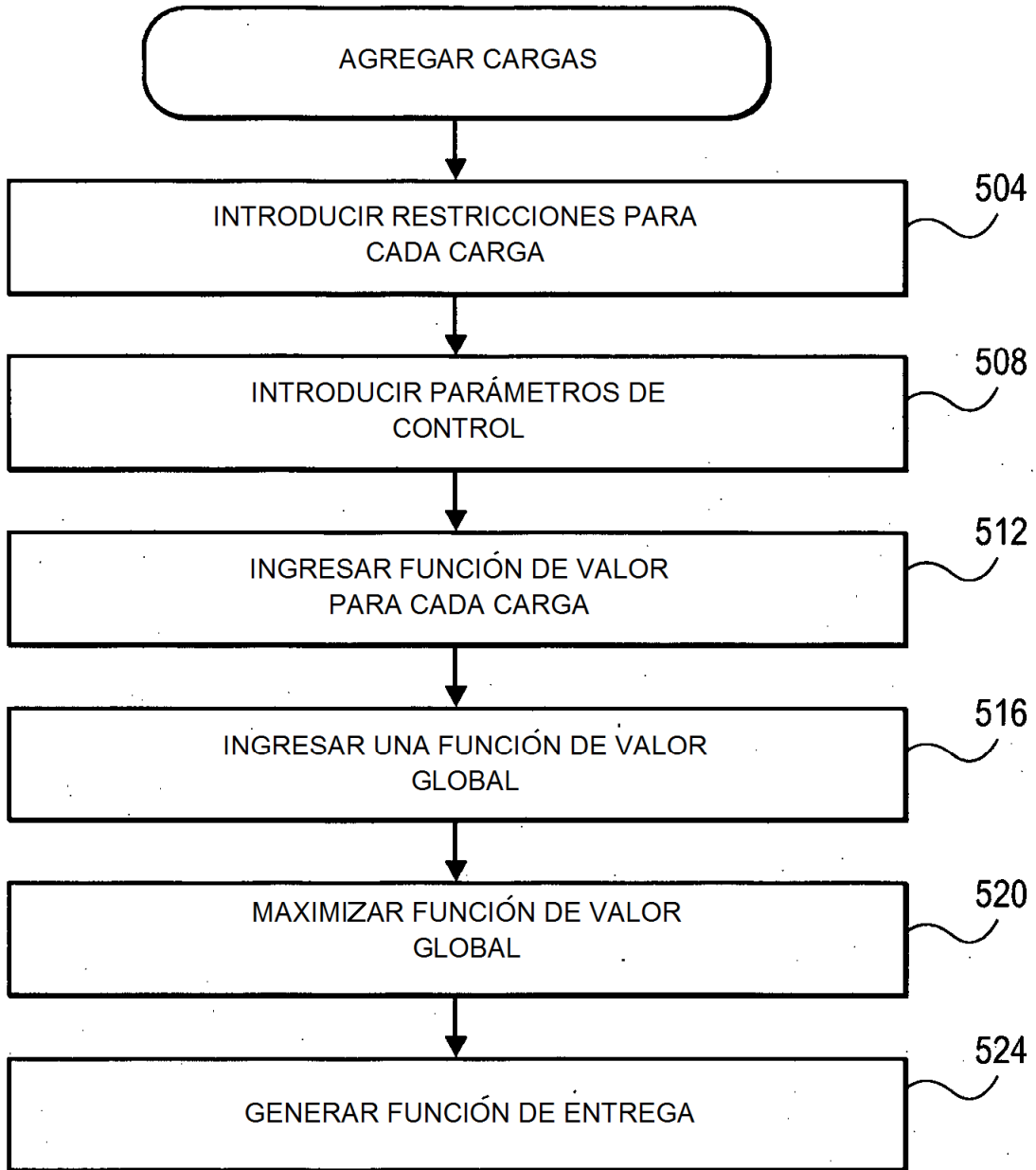


**FIG. 10**

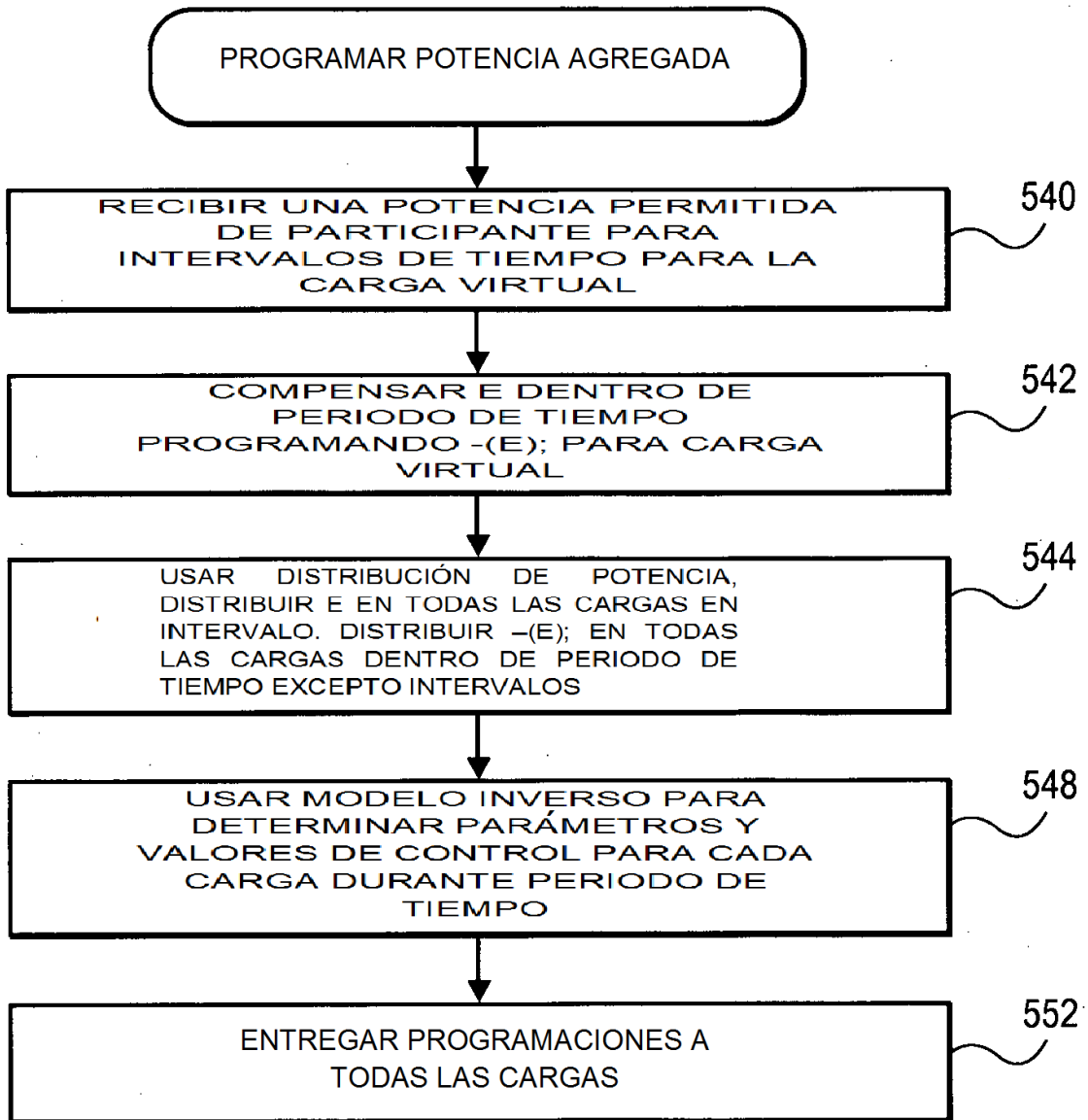


AGREGACIÓN DE CARGAS

**FIG. 11**

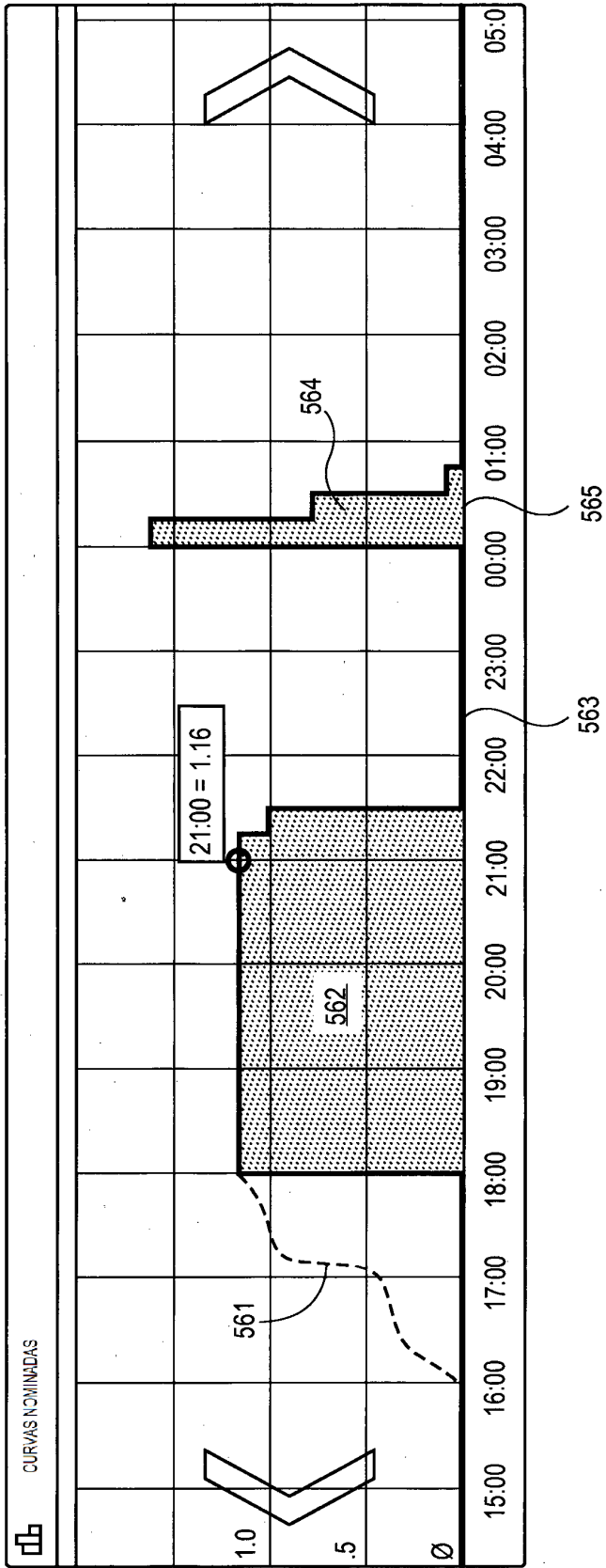


**FIG. 12**



**FIG. 13**

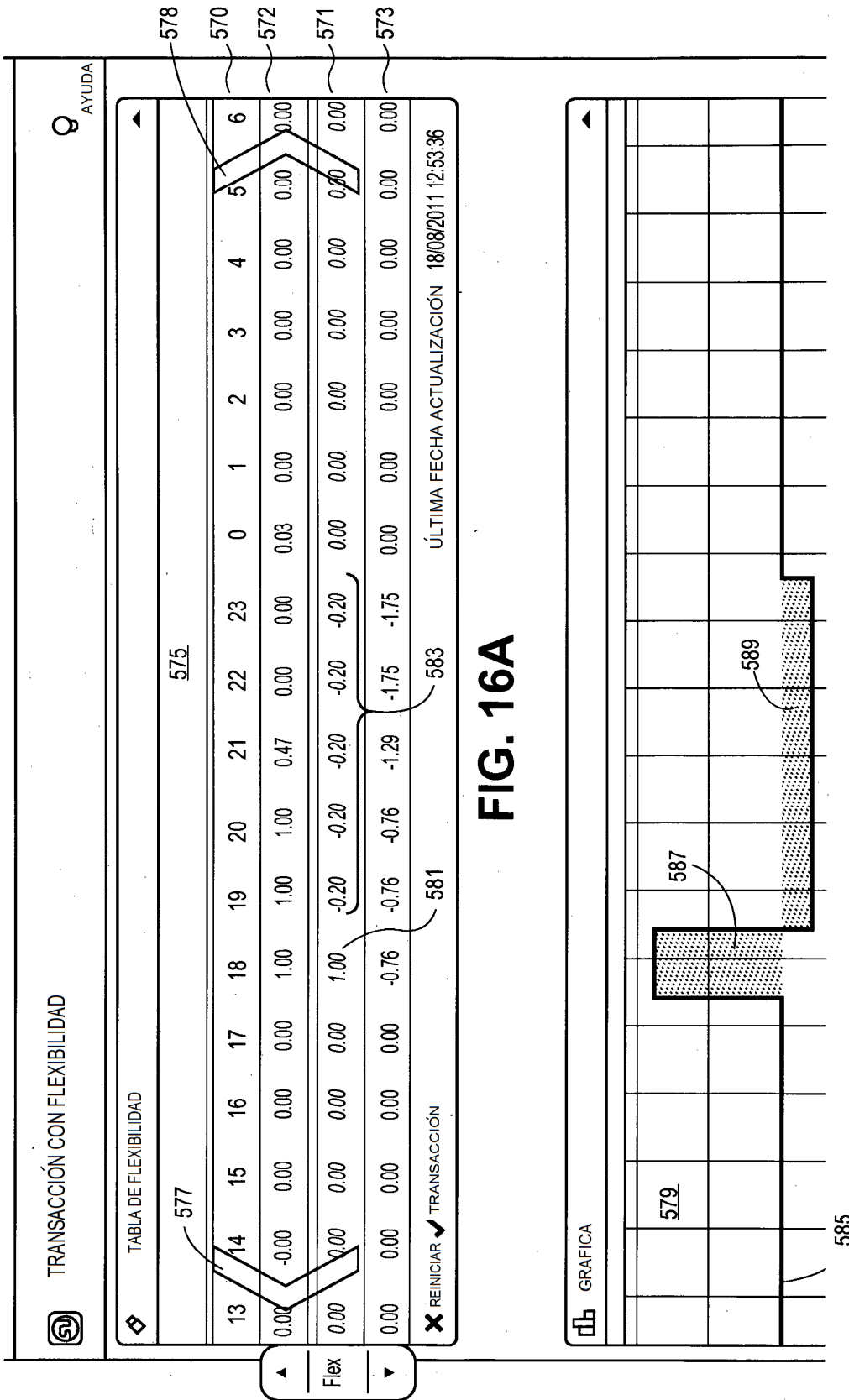




CURVA DE REFERENCIA PARA  
CARGA VIRTUAL

**FIG. 14**





◇ TABLA DE FLEXIBILIDAD

7/10/2011

590

592 +

591 Flex

593 -

	13	14	15	16	17	18	19	20	21:00	21:15	21:30	21:45	22	23	0	1	2
592	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	1.16	1.16	1.16	1.01	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.00	0.00	0.00
591	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.97	-0.04	-0.04	-0.30	-0.20	0.00	0.00	0.00
593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	1.16	1.16	0.92	0.77	-0.24	-0.24	-0.50	-0.20	0.00	0.00	0.00

reiniciar ✓ transacción

ÚLTIMA FECHA ACTUALIZACIÓN : 17/10/2011 20:56:45

FIG. 17A

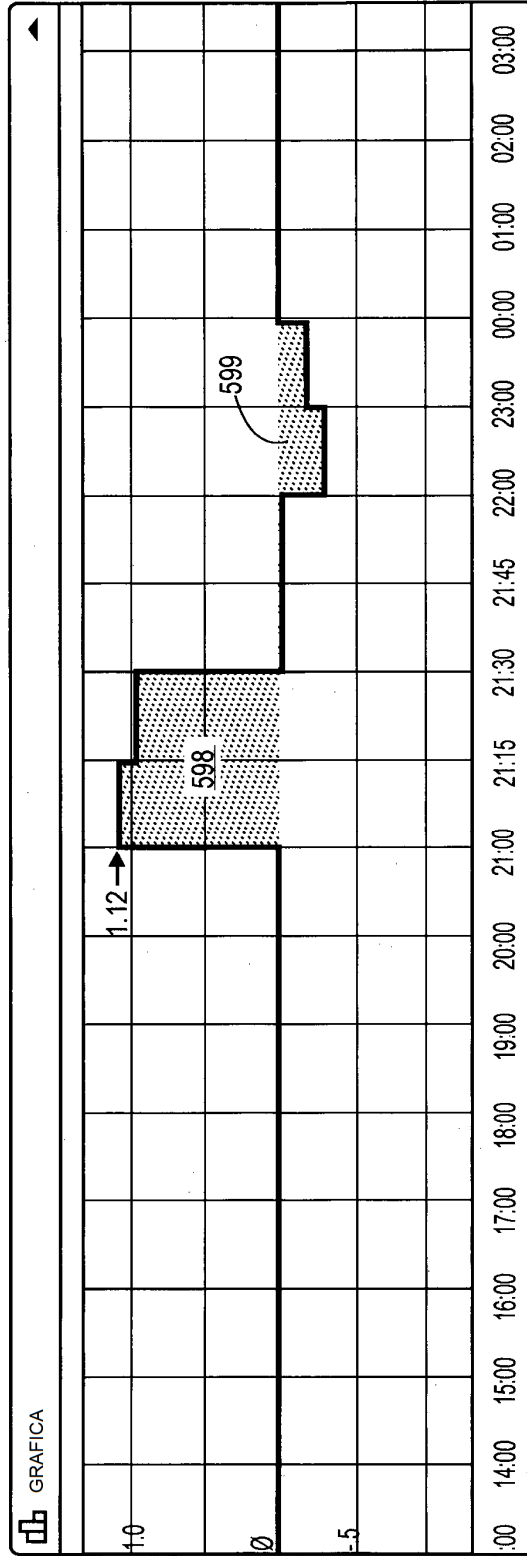
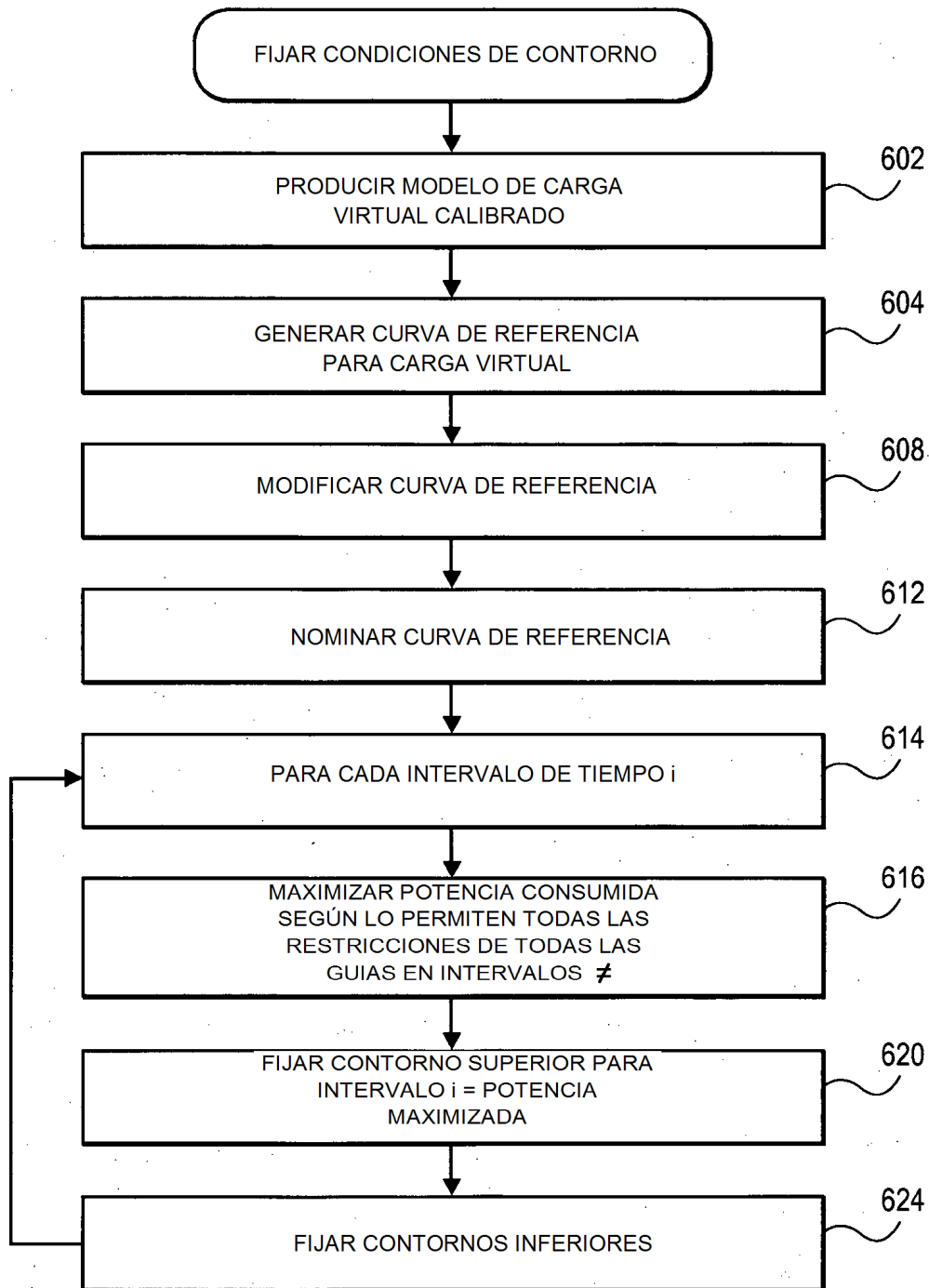
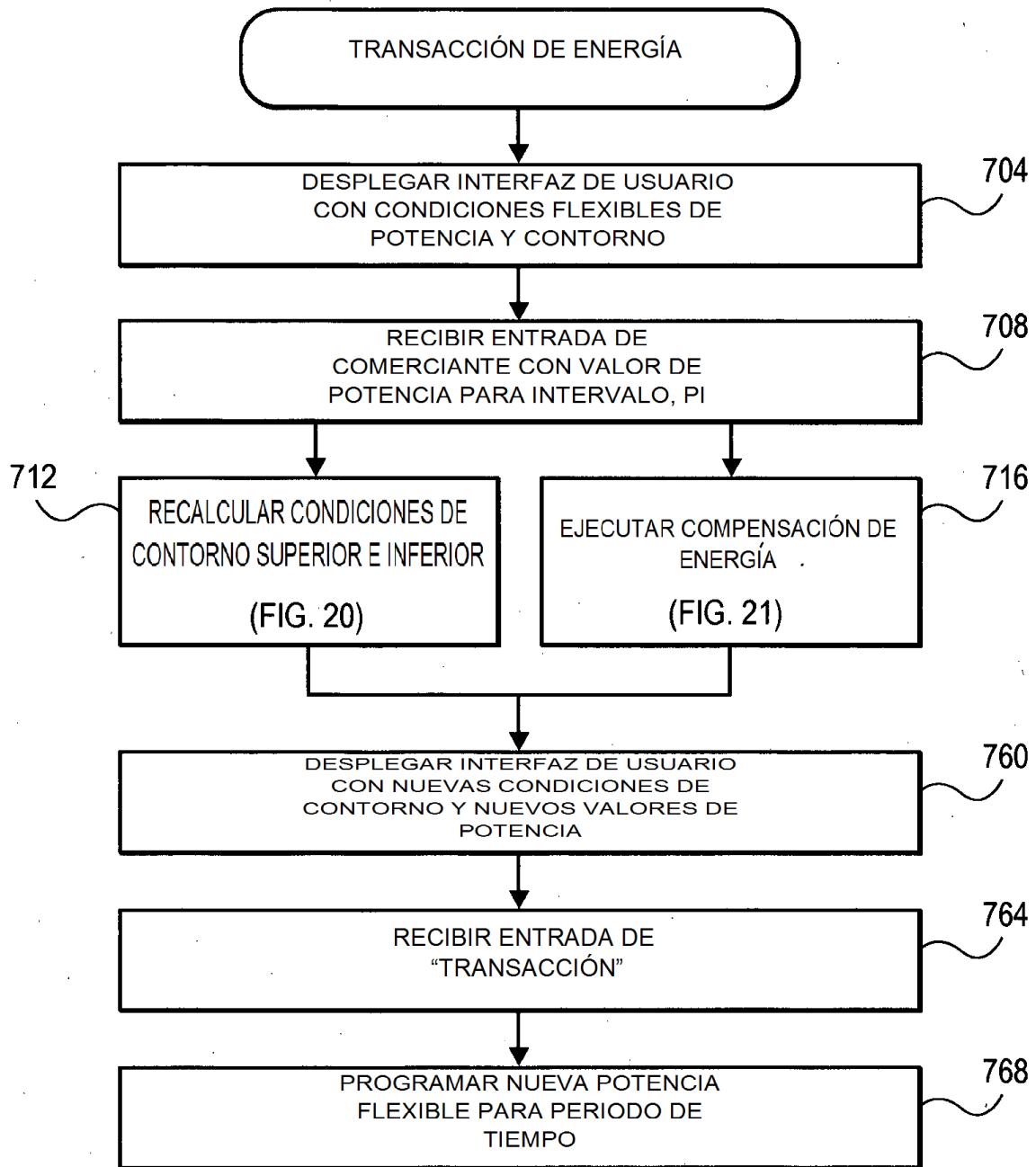


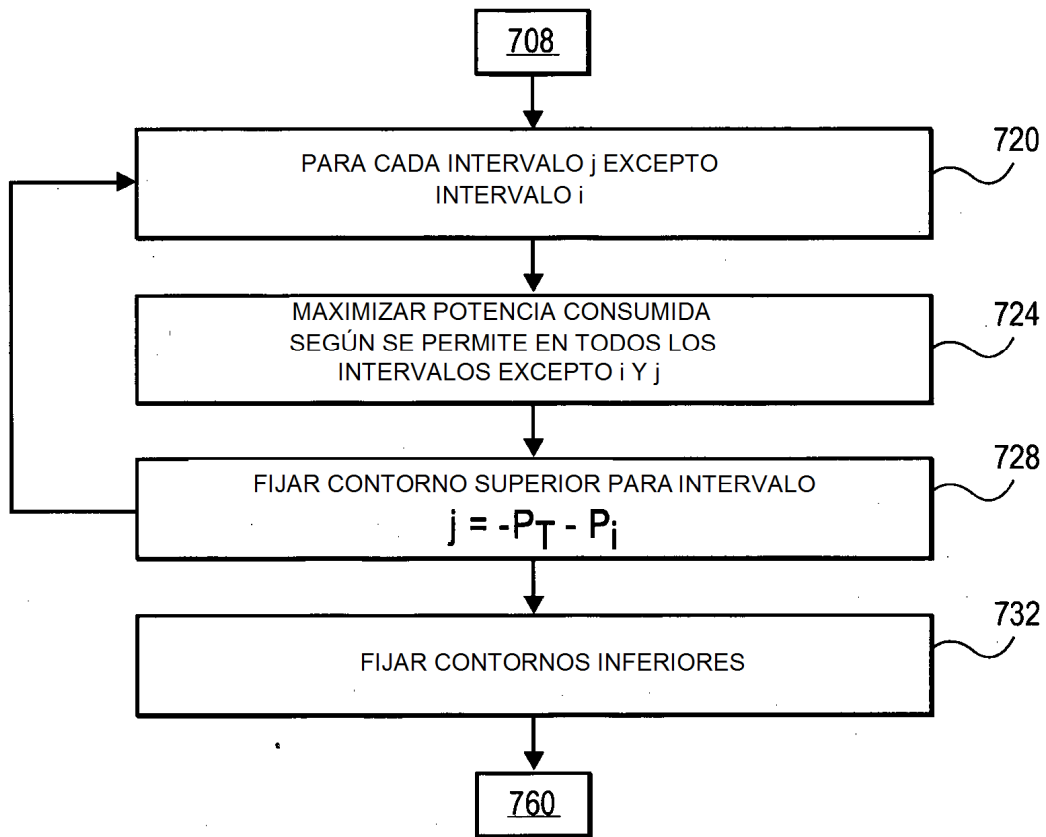
FIG. 17B



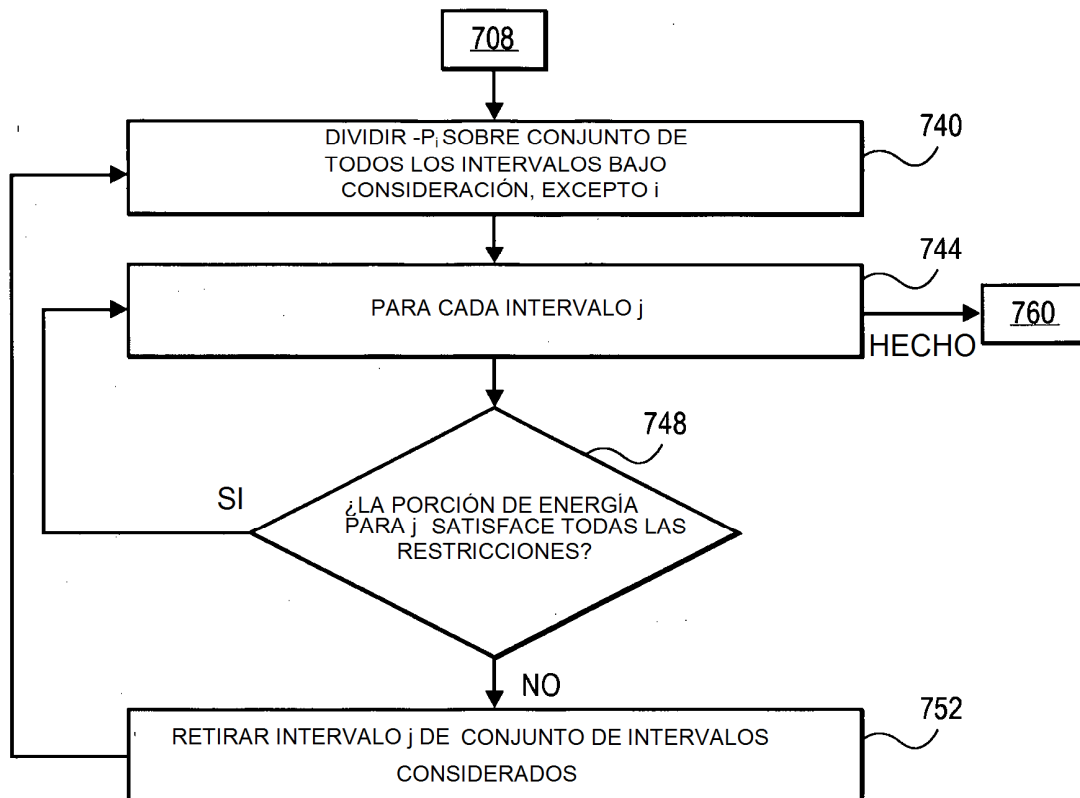
**FIG. 18**



**FIG. 19**

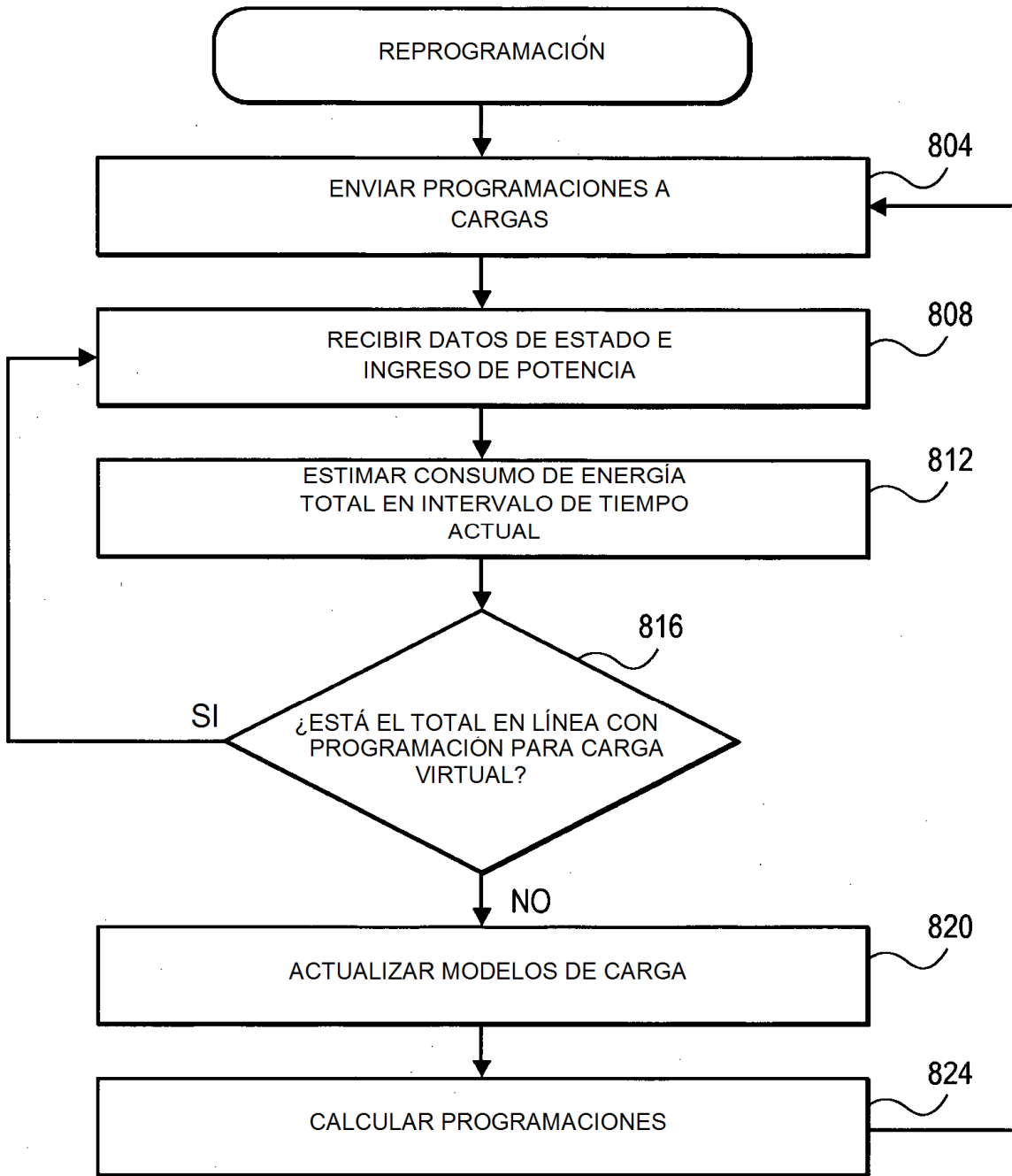


**FIG. 20**

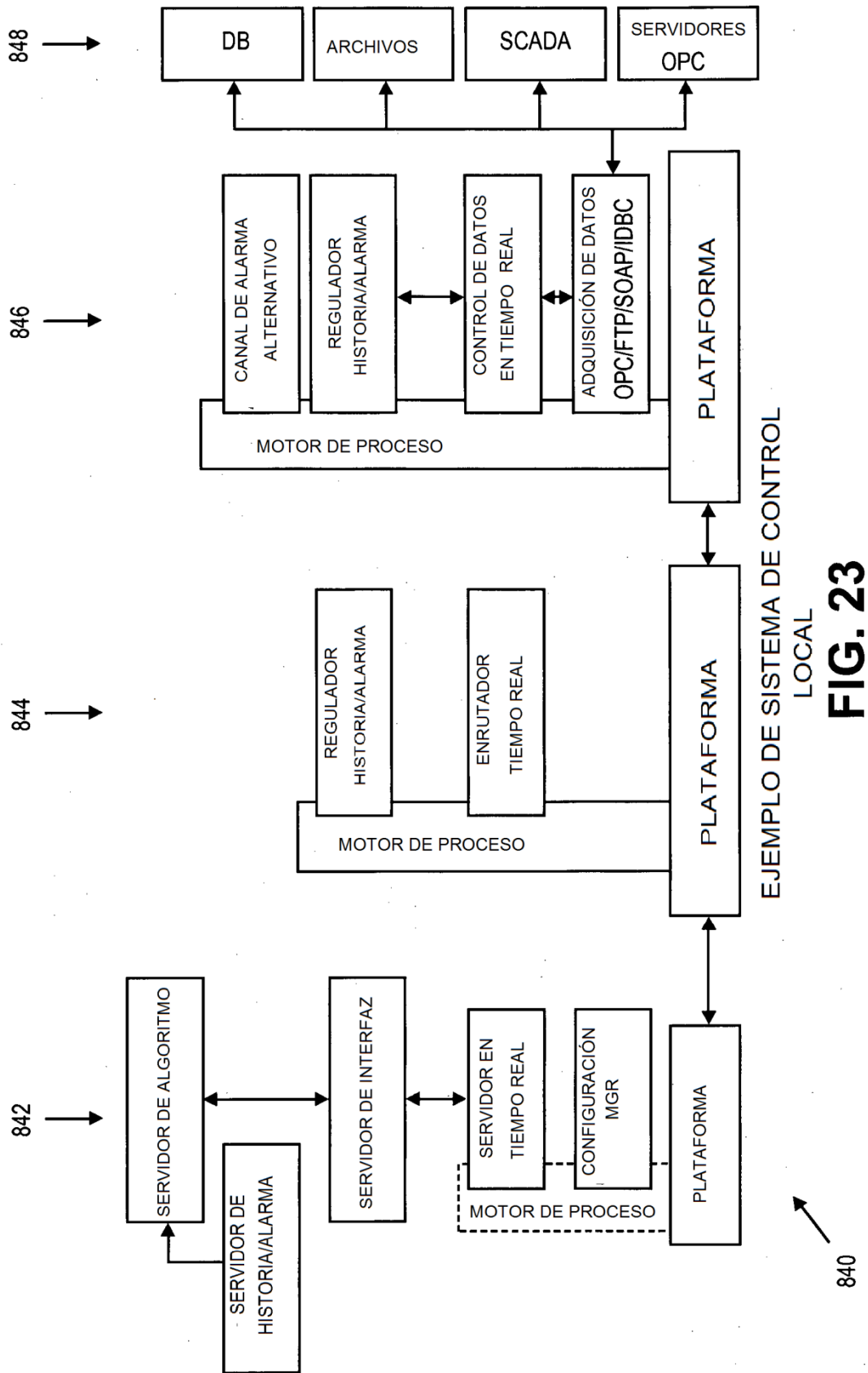


**FIG. 21**



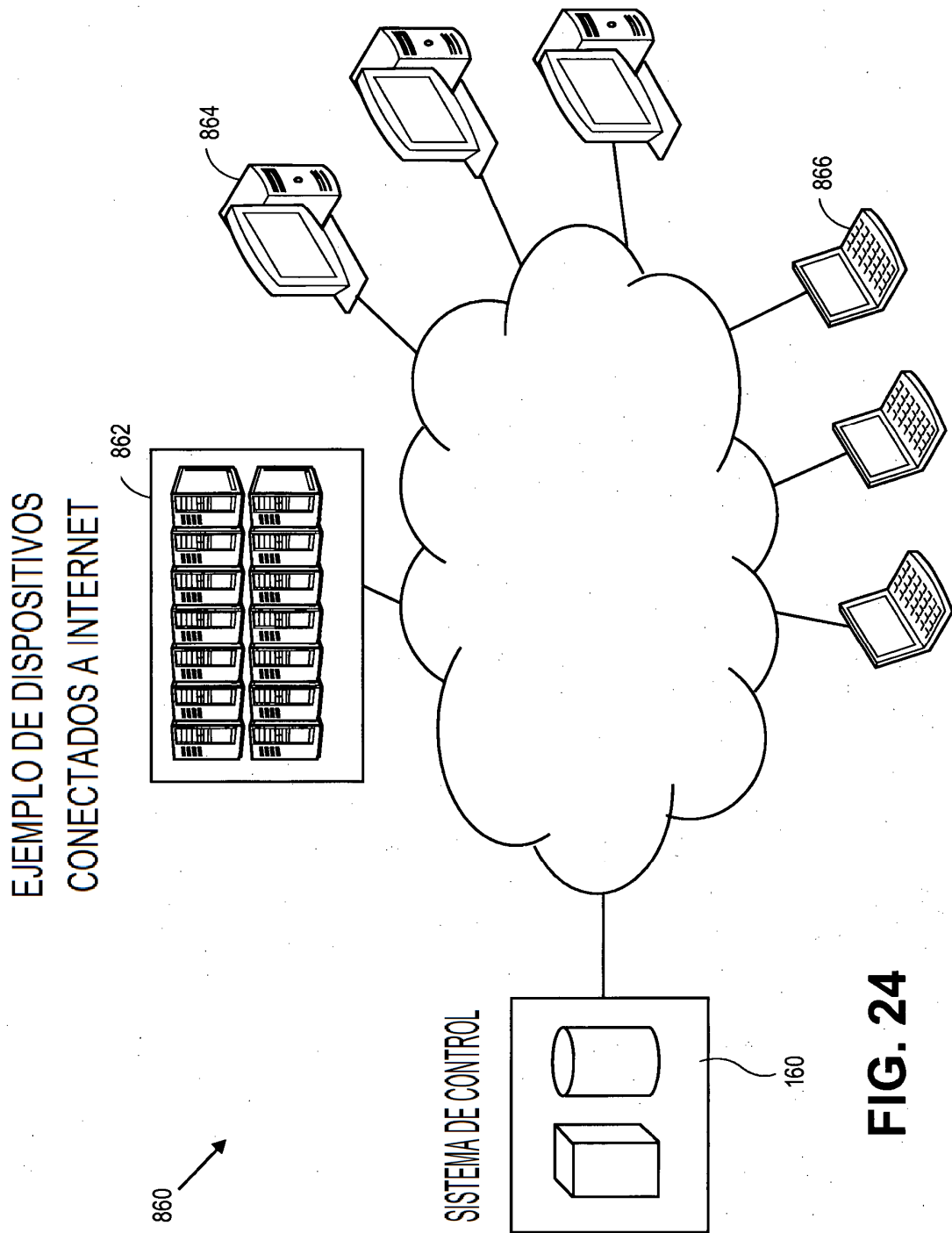


**FIG. 22**



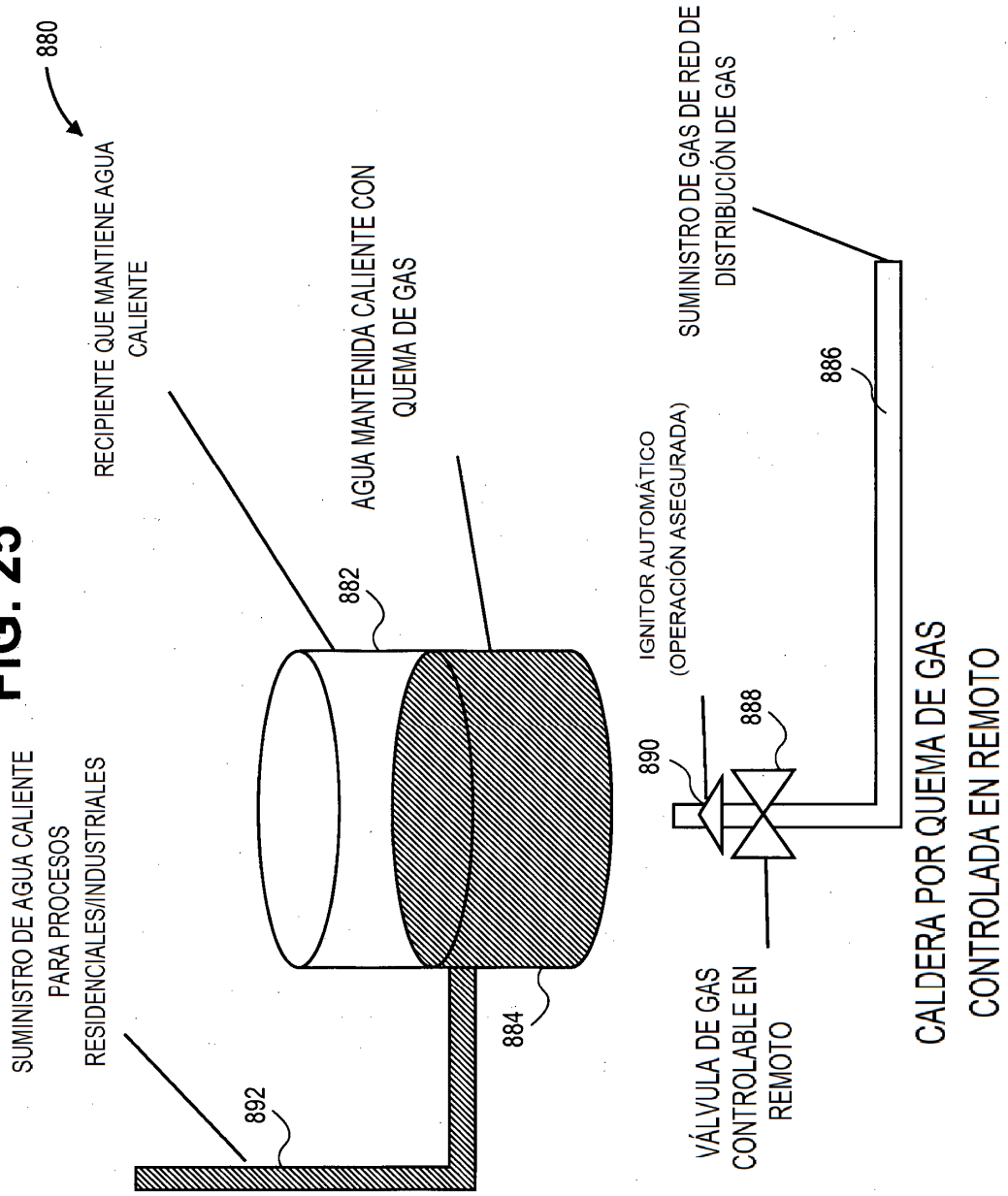
EJEMPLO DE SISTEMA DE CONTROL LOCAL

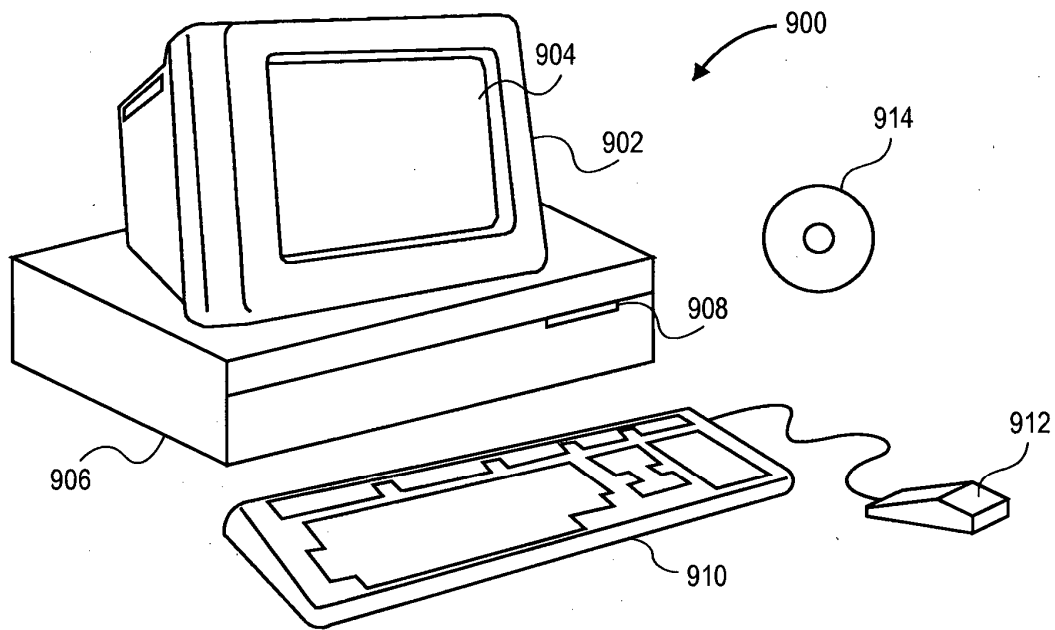
FIG. 23



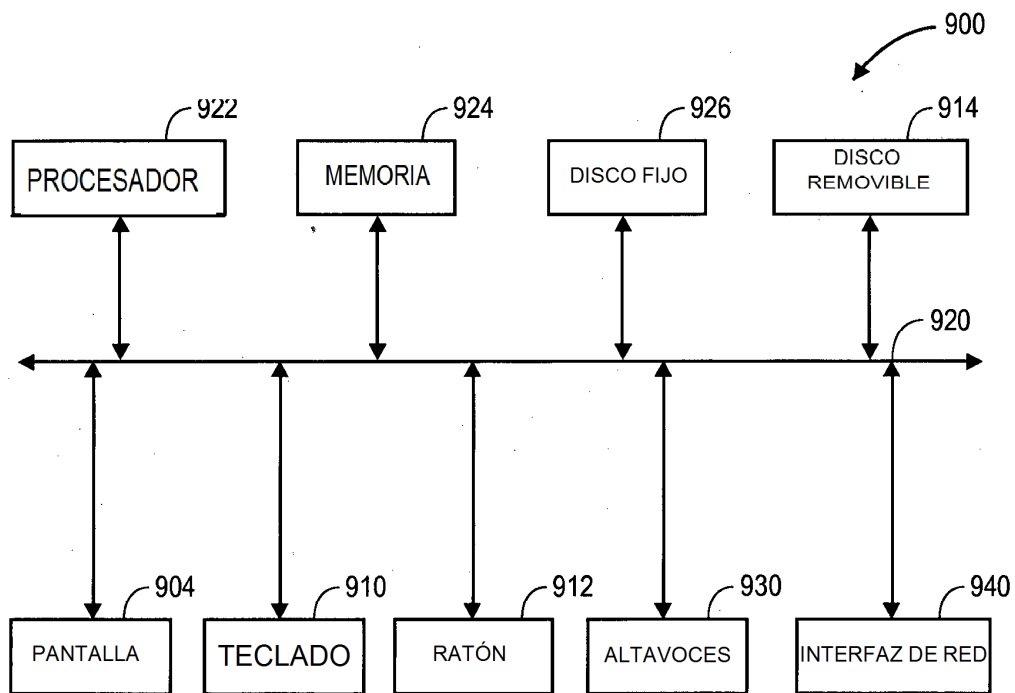
**FIG. 24**

**FIG. 25**





**FIG. 26A**



**FIG. 26B**