

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 990**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.11.2015 PCT/EP2015/075544**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16096230**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2015 E 15790117 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3235094**

54 Título: **Método para un control combinado de redes de energía y plantas de clientes**

30 Prioridad:

19.12.2014 EP 14199257

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

22.01.2021

73 Titular/es:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (100.0%)

**Karlsplatz 13
1040 Wien, AT**

72 Inventor/es:

ILO, ALBANA

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 802 990 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

Método para un control combinado de redes de energía y plantas de clientes

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para controlar una red eléctrica. La invención se refiere además a un nuevo elemento encapsulado para una red eléctrica, denominado aquí "elemento de enlace", y una red eléctrica que comprende tales elementos de enlace.

10

Antecedentes de la invención

La integración de las fuentes de energía renovables (RES) y la generación distribuida (DG), así como también los avances en medidores inteligentes y la tecnología de información y comunicación (ICT) crean nuevas circunstancias y desafíos en la industria de la energía eléctrica. Los sistemas de energía eléctrica no solo son los sistemas más grandes que la humanidad haya diseñado, sino también los más seguros. Su entorno relativamente cerrado los ha protegido del sabotaje y otros fines hostiles. Pero el uso de tecnologías contemporáneas para modernizar los sistemas de energía crea serias fugas de seguridad. Los problemas de ciberseguridad deben tratarse en las etapas iniciales de diseño de una arquitectura de un sistema de energía actualizada.

20

A continuación, se presentan diferentes marcos propuestos para resolver estos problemas. Una arquitectura básica de controlador de células descrita en P. Lund, "The Danish cell project - Part 1: Background and general approach", presentada en IEEE, Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, Estados Unidos, 24-28 de Junio de 2007, tiene una jerarquía de control en capas mediante el uso de una tecnología de agente distribuido y una red de fibra de alta velocidad. Hay tres módulos de control definidos: local, regional y empresarial, como se muestra en S. Cherian, B. Keogh, O. Pacific, "Dynamic distributed power grid control system", WO 2012/008979 A1, 19 de Enero de 2012. El número de datos intercambiados es tremendo.

25

De manera similar, se presenta una arquitectura de control de sistema de potencia ultra grande en J. Taft, PD Martini, "Ultra Large-Scale Power System Control Architecture; A Strategic Framework for Integrating Advanced Grid Functionality", sitio web de Cisco, octubre de 2012. En ese documento, un marco de control central de múltiples niveles está acompañado por un concepto de inteligencia distribuida vertical y horizontal.

30

En K. Moslehi, R. Kumar, "A Reliability Perspective of the Smart grid ", transacciones IEEE en la red Inteligente, vol. 1, no. 1, págs. 57-64, junio de 2010, se describe una arquitectura jerárquica para redes inteligentes, que se basa en siete componentes principales como redes, regiones, áreas de control, subestaciones de transmisión, subestaciones de distribución, alimentadores y componentes de los consumidores. Cada uno de ellos tiene agentes especializados que operan a diferentes escalas de tiempo de acuerdo con los fenómenos físicos de la red eléctrica.

35

Una arquitectura en capas basada en el prosumidor (productor-consumidor), presentada en S. Grijalva, M. U Tariq, "Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry", Conferencia ISGT, Anaheim, CA, Estados Unidos, 17 - 19 de enero de 2011, tiene el prosumidor como un componente principal, que consiste en una combinación de componentes como fuentes de energía, cargas, almacenamientos y una red eléctrica. Esta arquitectura permite un paradigma "plano" en toda la industria. Se propone una arquitectura orientada a servicios basada en la web, aunque tiene algunas desventajas en seguridad y confiabilidad.

40

45

Las tecnologías de seguridad para un sistema de red inteligente se discuten en A. R. Metke, R. L. Ekl, "Security Technology for Smart grid Network", transacciones IEEE en red Inteligente, vol. 1, no. 1, págs. 99-107, junio de 2010, en donde los elementos claves de tecnología de infraestructura pública basados en estándares de la industria y elementos confiables se presentan como una solución adecuada. El "Smart Grid Architecture Model" presentado en el Grupo de Coordinación de red Inteligente CEN-CENELEC-ETSI, "Smart grid Reference Architecture", página de inicio de la Comisión de la UE [En línea], noviembre de 2012, tiene seis niveles jerárquicos, o zonas, y cinco dominios. Las zonas son: proceso, campo, estación, operación, empresa y mercado; mientras que los dominios son: generación, transmisión, distribución y locales del cliente. Se usa un concepto de metamodelo para la descripción de arquitecturas funcionales para redes inteligentes.

50

55

En A. Ilo, "The Energy Supply Chain Net", Energy and Power Engineering, [En línea], Volumen 5 (4), págs. 384-390, se presenta una breve descripción general del modo general "The Energy Supply Chain Net", Julio de 2013, que ha creado algunas bases para una arquitectura distribuida basada en enlaces.

60

Todos los controles de la red eléctrica basados en celdas mencionados anteriormente tienen la desventaja de que todavía necesitan una regulación compleja entre las celdas propuestas, es decir, el control dentro de las celdas y el control entre celdas están desarticulados. El número de datos a intercambiar es muy grande y no puede dominarse con las tecnologías de comunicación convencionales. El uso de las tecnologías contemporáneas de comunicación e información crea graves fugas de seguridad. Los métodos tienen un nivel de abstracción muy alto y apenas son

65

aplicables a gran escala. Por último, pero no menos importante, todavía existe la necesidad de facilitar la implementación de complejos basados en prosumidores en redes eléctricas.

El documento WO 2014/166524 A1 describe un sistema de suministro de energía, que comprende una pluralidad de lazos de control, cada uno de los cuales controla uno o más generadores de energía. Los niveles de suministro correspondientes a los lazos de control alimentan un mercado de energía común, separado y aislado y, por lo tanto, son susceptibles a demandas repentinas y cortes del mercado de energía común. El documento WO2014/127473 A1 describe un método para controlar una red eléctrica que comprende una pluralidad de microrredes unidas de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, y una red eléctrica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 9.

Objeto de la invención

Es un objeto de la invención proporcionar métodos y aparatos mejorados que superen los inconvenientes mencionados anteriormente en el estado de la técnica.

Resumen de la Invención

En un primer aspecto, la invención proporciona un método para controlar una red eléctrica con al menos dos primeros elementos de enlace, cada uno compuesto por al menos una parte de la red y un control secundario para calcular los puntos de configuración, en donde el tamaño de la parte de la red se define por el área donde se configura el control secundario, cada primer elemento de enlace tiene al menos un nodo de enlace para acoplarse a al menos un segundo elemento de enlace similar al primer elemento de enlace y tiene uno o más nodos productores, uno o más nodos de carga, y uno o más nodos de almacenamiento, que comprenden, en cada primer elemento de enlace, recibir un primer valor de demanda en el nodo de enlace;

calcular un punto de configuración en base al primer valor de demanda para cada uno de tales nodos productores, nodos de carga y nodos de almacenamiento del primer elemento de enlace;

determinar una diferencia entre el primer valor de demanda y un valor real que se alcanza al aplicar los puntos de configuración a tal al menos un nodo productor, nodo de carga y nodo de almacenamiento del primer elemento de enlace respectivo; si la diferencia determinada está por encima de un umbral, enviar un porcentaje de la diferencia determinada como un segundo valor de demanda a al menos un segundo elemento de enlace, en donde tales al menos dos primeros elementos de enlace están acoplados a través de sus nodos de enlace.

La invención se basa en un nuevo concepto de "elementos de enlace" o "enlaces" completamente encapsulados, a los que solo puede accederse a través de interfaces claramente definidas. Mediante el uso del método mencionado anteriormente, cada enlace puede verse como una caja negra cerrada, que transfiere los valores de demanda para demandas programadas o no programadas que no pueden cumplirse dentro de esta caja negra. Dado que solo deben intercambiarse valores bien definidos, se mejora la ciberseguridad mientras se facilita la incorporación de nuevos elementos de enlace en la red eléctrica. Por lo tanto, los elementos de enlace basados en prosumidores pueden conectarse a nodos de enlace de tal elemento de enlace y, por lo tanto, se proporciona una fácil incorporación a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas basadas en el consumidor.

La invención proporciona una actualización de la arquitectura tradicional del sistema de energía, que es particularmente útil para integrar recursos de energía renovable y generadores distribuidos. Por lo tanto, se diseña una nueva arquitectura técnico-funcional de los sistemas de energía, que puede tener en cuenta las reglas modernas del mercado eléctrico y los rigurosos requisitos de ciberseguridad y privacidad.

El concepto inventivo se basa en el modelo general del sistema de energía que se extiende de alto a baja tensión, incluidas las plantas del cliente. El elemento base genérico del mismo es el "elemento de enlace", o "enlace", de una continuación. Se diseña una arquitectura distribuida basada en enlaces, en donde cada enlace es modular y cohesivo. Esta arquitectura permite un paradigma "plano" en toda la industria y minimiza la cantidad de datos que deben intercambiarse. La invención se basa en nuevas interfaces para conexiones de enlace a enlace, planta de energía a enlace y almacenamiento a enlace.

La invención se basa en un nuevo marco arquitectónico que solo necesita un componente base: el enlace. El enlace es genérico y cohesivo, y puede usarse de manera consistente en toda la red, incluida la planta del cliente. Por medio de esto, pueden cumplirse requisitos rigurosos de ciberseguridad y privacidad y acomodación en el mercado. Se minimiza el número de datos intercambiados para el funcionamiento confiable del enlace.

Preferentemente, tal valor real es un valor calculado que podría alcanzarse si los puntos de configuración se aplicaran a tal al menos un nodo productor, nodo de carga y nodo de almacenamiento del primer elemento de enlace respectivo. Esto tiene la ventaja de que la aplicación de los puntos de configuración solo se realiza después de que se haya asegurado de que el valor de la demanda pueda alcanzarse transfiriendo un porcentaje del valor de la demanda a otras redes eléctricas.

En una modalidad preferida, los puntos de configuración se aplican a los nodos del generador, nodos de carga y nodos de almacenamiento del primer elemento de enlace respectivo después de determinar tal diferencia. De esta forma, los puntos de configuración pueden reajustarse con respecto a la diferencia determinada.

5 En una modalidad alternativa, tal valor real es un valor medido que se alcanza después de que los puntos de configuración se hayan aplicado a tal al menos un nodo productor, nodo de carga y nodo de almacenamiento del primer elemento de enlace respectivo. Esto facilita la determinación de la diferencia y ahorra tiempo, ya que puede omitirse la etapa de determinar la diferencia en base a una aplicación teórica de los puntos de configuración.

10 Preferentemente, el método comprende, después de determinar la diferencia, enviar una solicitud desde el primer elemento de enlace respectivo a través del nodo de enlace a al menos un segundo elemento de enlace, recibir un valor de respuesta de tal segundo elemento de enlace a través del nodo de enlace y calcular tal porcentaje sobre la base de tal valor de respuesta.

15 Por lo tanto, puede emplearse un esquema de solicitud y envío antes de calcular el porcentaje. La solicitud puede contener en sí la diferencia determinada o una fracción de la misma, por ejemplo, la fracción es el número de elementos de enlace segundo/adicional a los que se envía la solicitud.

20 Preferentemente, al menos uno de los primer y segundo valores de demanda está acompañado por al menos uno de una duración y un tiempo de inicio. Así, por ejemplo, pueden emplearse horarios diarios o de la próxima hora.

25 En una modalidad preferida adicional, los valores intercambiados a través del nodo de enlace son al menos uno de los siguientes: una frecuencia, una potencia activa, una potencia reactiva, una tensión, un factor de potencia, una característica de carga estática y/o dinámica, una corriente activa, una corriente reactiva, parámetros dinámicos equivalentes del generador, parámetros equivalentes del excitador estático, parámetros equivalentes de la turbina. Esto asegura una comunicación eficiente y suficiente entre dos elementos de enlace. Con respecto a la ciberseguridad, solo se transfiere un número mínimo de datos, de manera que se garantiza un entorno privado de los elementos de enlace. Por las mismas razones, los valores intercambiados a través de uno de tales nodos productores, nodos de carga y nodos de almacenamiento son al menos uno de los siguientes: una frecuencia, una potencia activa, una potencia reactiva, una tensión, un factor de potencia, una característica de carga estática y/o dinámica.

30 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una red eléctrica que comprende generadores, cargas y almacenamientos, y al menos dos elementos de enlace acoplados a través de sus nodos de enlace, cada elemento de enlace está acoplado a través de uno de sus nodos productores, nodos de carga y nodos de almacenamiento a uno de los generadores, cargas y almacenamientos. Por lo tanto, puede lograrse una red eléctrica autorreguladora uniendo los elementos de enlace de acuerdo con la invención.

35 Preferentemente, la red eléctrica tiene al menos tres elementos de enlace, en donde cada generador, carga y almacenamiento acoplado al primer elemento de enlace opera en un nivel de alta tensión, cada generador, carga y almacenamiento acoplado al segundo elemento de enlace opera en un nivel de tensión media, y cada generador, carga y almacenamiento acoplado al tercer elemento de enlace opera en un nivel de baja tensión. Debido a la estructura estandarizada de los elementos de enlace, el concepto propuesto puede aplicarse a cualquier partición de la red eléctrica, ya sea dentro de un subconjunto de una red de alta tensión, una red de tensión media, una red de baja tensión o simplemente una planta de energía de un cliente.

40 Breve Descripción de los Dibujos

La invención se explicará ahora con más detalle a continuación sobre la base de modalidades ilustrativas preferidas de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

50 la Figura 1 muestra una red eléctrica en una vista esquemática;
 la Figura 2 muestra otra red eléctrica en una vista esquemática adicional;
 las Figuras 3a y 3b muestran un elemento de enlace general (o "enlace") de acuerdo con la invención.
 las Figuras 4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b, 7a y 7b muestran modalidades del elemento de enlace de las Figuras 3a y 3b;
 55 las Figuras 8a, 8b y 8c muestran esquemas operativos de una red eléctrica de acuerdo con la invención;
 la Figura 9 muestra un método para controlar una red eléctrica de acuerdo con la invención en un diagrama de bloques esquemático;
 la Figura 10a muestra un método adicional para controlar una red eléctrica de acuerdo con la invención en un diagrama de bloques esquemático; la Figura 10b muestra un elemento de enlace como se usa en el método de la Figura 10a;
 60 las Figuras 11a, 11b y 11c muestran una representación esquemática de una cadena de control Volt/var en un tipo de sistema de potencia europeo típico;
 la Figura 12 muestra el algoritmo del control secundario generalizado Volt/var del Enlace;
 la Figura 13a muestra el funcionamiento del sistema con una contingencia;
 la Figura 13b muestra el cálculo de los nuevos puntos de configuración/restricciones; y
 65 la Figura 13c muestra un proceso de aprobación y configuración.

Descripción Detallada

A. Visión general

5 Con respecto al funcionamiento de la red y las características de construcción, la Figura 1 muestra una red de energía eléctrica dividida en partes: transmisión (red de alta tensión, HVG) y distribución, que comprende la red de tensión media (MVG) y la red de baja tensión (LVG). Además, cada planta del cliente tiene su propia red (CPG) para suministrar directamente las cargas. Dentro del sistema de energía, solo la HVG se monitorea completamente y se regula y controla automáticamente por medio del control primario, secundario y, a veces, terciario implementado para ambas cantidades principales de sistemas de energía, es decir, frecuencia y tensión. La Figura 1 muestra así una visión general de la red eléctrica de acuerdo con el "Modelo del Suministro de Energía de Red en Cadena" discutido al principio por medio de una CPG de la planta del cliente incorporada. Las HVG, MVG, LVG y CPG se presentan a través de gráficos de elipse. El lazo de control primario y secundario se representa con líneas, mientras que el área de control respectiva para el control secundario se representa a través de las áreas de superficie de los rectángulos. Cada una de las partes de la red tiene el mismo esquema de control. Esto significa que las MVG, LVG y CPG (por medio de Redes Inteligentes) se diseñan además para tener control primario y secundario tanto para la frecuencia como para la tensión de grandes cantidades. Por lo tanto, el sistema de energía se concibe como una "Suministro de Energía de Red en Cadena" con cada red (HVG/MVG/LVG y CPG) considerándose como un "enlace" (ver a continuación) por sí mismo. El corazón de este modelo involucra el siguiente principio básico: las HVG, MVG, LVG y CPG se están manejando a sí mismas y reaccionan de manera flexible entre sí como los eslabones de una red en cadena. Esto significa que cada enlace individual o un miembro del paquete de enlaces opera de forma independiente, teniendo acuerdos contractuales con otros enlaces de límite relevantes o paquetes de enlaces y proveedores, que se inyectan directamente en sus propias redes. En consecuencia, puede decirse que los enlaces son modulares y cohesivos.

25 La Figura 2 muestra una visión general de la red eléctrica interconectada desde la perspectiva del modelo "Suministro de Energía de Red en Cadena". Pueden distinguirse dos ejes: el eje horizontal y el vertical. En el eje horizontal, se ubican áreas de HVG, que ya están conectadas, es decir, unidas entre sí a través de interconexiones, y crean una conexión flexible entre sí. El flujo en la interconexión no está automatizado ni coordinado desde el punto de vista técnico. En cambio, los horarios de flujo se establecen principalmente por razones económicas. En el eje vertical las MVG, LVG y CPG se clasifican, que están conectadas en un punto particular de la HVG correspondiente.

35 Las investigaciones han demostrado que, además del Operador del Sistema de Transmisión (TSO) y el Operador del Sistema de División (DSO), un nuevo operador llamado Operador del Sistema de Baja Tensión (LVSO) es útil cuando las automatizaciones domésticas y su integración en la red están bien establecidas. Además de los objetivos técnicos, la misión de cada actor será facilitar mercados minoristas efectivos y que funcionen bien. El modelo de "Suministro de Energía de Red en Cadena" permite la presencia de diferentes actores del mercado, ya sean TSOs, DSOs, LVSO, proveedores y prosumidores grandes y/o pequeños.

40 El modelo de "Suministro de Energía de Red en Cadena" minimiza el número de datos que deben intercambiarse. Adicionalmente, al incluir en sí mismo la estructura de enlaces propuesta en la presente descripción, este modelo garantiza la privacidad, seguridad y disponibilidad de los datos y de la información desde el principio.

45 El "Suministro de Energía de Red en Cadena" es un enfoque para modelar objetivos y funciones de procesos complejos del sistema de energía, que involucra interacciones entre los flujos de energía, la información y el mercado. Los componentes básicos de este enfoque son el enlace 1, el complejo productor 2 y el complejo de almacenamiento 3, que se detallan a continuación.

B. El enlace o elemento de enlace

50 El elemento de enlace 1, o "enlace" en resumen, se define como una composición de una parte de la red, llamado red de enlace, con un control secundario correspondiente y algunas interfaces de enlace. El tamaño de la red de enlace es variable y se define desde el área, donde se configura el control secundario del enlace. Esto significa que la red de enlace puede incluir, por ejemplo, un subsistema (el transformador de suministro y los alimentadores suministrados desde él) o una parte de la red de subtransmisión, siempre que el control secundario esté configurado en el área respectiva.

60 La Figura 3a muestra un ejemplo del enlace 1. El término red de enlace se refiere a equipos eléctricos como líneas/cables, transformadores y dispositivos de energía reactiva, que se conectan directamente entre sí formando una unidad eléctrica. Cada enlace 1 tiene una cantidad de nodos de límite a través de los cuales está conectado con otros enlaces vecinos (Nodo de Enlace de Límite, BLiN), plantas de energía que se inyectan directamente en él (Nodo de Generación de Límite, BGN), unidades de almacenamiento conectadas directamente a la red de enlaces (Nodo de Almacenamiento de Límite, BSN) y cargas suministradas desde él (Nodo de Carga de Límite, BLoN).

65 El enlace 1 tiene un control secundario para las dos entidades principales de los sistemas de energía, es decir, frecuencia y tensión. Su algoritmo cumple problemas técnicos y calcula los puntos de configuración para sus propios

componentes y componentes conectados a los mismos respetando las restricciones dinámicas que son necesarias para permitir una operación estable. Las instalaciones, los transformadores y los dispositivos de energía reactiva del enlace pueden actualizarse con un control primario/local. Por lo tanto, el control secundario puede enviar puntos de configuración a instalaciones propias y a todas las entidades conectadas en los nodos de límite.

5 C. El complejo productor

El complejo productor 2 es una composición de una instalación de producción de electricidad (puede ser un generador, un módulo fotovoltaico, etc.), su control primario y la interfaz del productor.

10 D. El complejo de almacenamiento

El complejo de almacenamiento 3 es una composición de una instalación de almacenamiento (puede ser un generador de una planta de bombeo de energía, baterías, etc.), su control primario y la interfaz de almacenamiento.

15 E. Tipos de enlaces

La privacidad de datos y la transferencia de grandes datos son los dos desafíos más grandes que enfrentan las tecnologías de red inteligente en la actualidad. Para superar estos dos desafíos, es decir, para garantizar la privacidad de los datos y minimizar el número de datos relevantes que se intercambiarán, se propone la siguiente arquitectura distribuida basada en enlaces. El principio clave de este diseño es prohibir el acceso a todos los recursos de forma predeterminada, permitiendo el acceso solo a través de puntos de límite bien definidos, es decir, interfaces del enlace 1. La Figura 3b muestra las interfaces de un enlace 1. Como se mencionó anteriormente, el enlace 1 tiene una serie de nodos de límite que son enlaces conectados 1, complejos productores 2, complejos de almacenamiento 3 y cargas 4. Normalmente están conectados eléctricamente con el enlace 1 correspondiente a través de interruptores (disyuntores, interruptores o fusibles). Pero, para asegurar una operación estable y confiable del enlace, el intercambio de flujo de energía en los puntos límite y el comportamiento del vecino en casos de contingencia y emergencia deben ser conocidos en todo momento. Por esa razón, tres tipos de interfaces se definen de la siguiente manera: enlace a enlace, complejo de almacenamiento a enlace y complejo de productor a enlace. Cuando un enlace 1 necesita conectarse a otro enlace 1 u otros componentes eléctricos 2, 3, 4 para funcionar, usa la interfaz adecuada. Para crear una comprensión clara del enlace 1, los tipos de enlace y las interfaces se analizan a continuación.

Existen cuatro tipos de enlaces diferentes: enlace HV, enlace MV, enlace LV y enlace CP, en dependencia del tipo de red de enlace HVG, MVG, LVG o CPG. Las Figuras 4a - 7a y las Figuras 4b - 7b muestran una descripción general de la red de enlaces y las entidades correspondientes, respectivamente, que deben intercambiarse en condiciones normales de operación por diferentes tipos de enlace: enlace HV, enlace MV, enlace LV y enlace CP:

35 E.1 Enlace HV

40 El enlace HV 1 está mallado y actualizado con mediciones en tiempo real, ver Figuras 3a y 3b. Los vecinos de este enlace 1 son otros enlaces HV y enlaces MV, generadores y almacenamientos. Las interfaces relevantes son enlace a enlace, enlace a generador y enlace a almacenamiento. El área secundaria de control puede ser la misma que el área de control de TSO aún existente. Especialmente para el tipo de red europea, también la parte de la red de transmisión secundaria (casi 110 kV) puede crear una red de enlace propia del tipo HV.

45 E.2 Enlace MV

50 El enlace MV 1 es normalmente radial con muy pocas mediciones en tiempo real, ver Figuras 4a y 4b. El enlace MV 1 tiene un punto de intersección con la red de enlace HV sobre el transformador HV/MV. Normalmente, su área secundaria de control incluye solo un subsistema, lo que significa solo una parte del área de control del DSO. Dado que la topología se actualiza en SCADA (control de supervisión y adquisición de datos - comandos en el momento apropiado actualizados manualmente), el área secundaria de control cambia dinámicamente y en el caso dado dos enlaces 1 se fusionarán automáticamente en uno.

55 E.3 Enlace LV

60 El enlace LV 1 es normalmente radial y, en el caso de medidores inteligentes, se despliega con un gran número de mediciones, ver Figura 5a y 5b. El enlace LV 1 tiene un punto de intersección con la red de enlace MV sobre un transformador de distribución. Normalmente, su área secundaria de control incluye solo un subsistema, es decir, solo una parte del área de control DSO. La topología en SCADA puede actualizarse manualmente y, en consecuencia, el área secundaria de control cambiará dinámicamente y, en el caso dado, dos enlaces se fusionarán automáticamente en uno.

65 E.4 Enlace CP

El enlace CP 1 es una caja negra pura con un control secundario sobre el equipo de la planta del cliente, que puede alcanzar un óptimo energético y económico mediante el cumplimiento de los acuerdos/requisitos con los enlaces LV, ver las Figuras 6a y 6b. A diferencia de los otros tipos de enlaces, este enlace 1 no está bajo la administración de servicios públicos, sino del cliente, es decir, del señor de la casa.

Cada operador de enlace 1 o paquete de enlaces es consciente de la capacidad de producción de electricidad de las instalaciones que alimentan su propia red y sus limitaciones. Se concibe la topología con respecto a los productores y consumidores de energía y su propia capacidad para distribuir la electricidad. El enlace 1 conoce la respuesta de control de cada uno de los productores de electricidad y puede emitir secuencias para satisfacer las necesidades dinámicas del área. Para garantizar una operación factible, confiable y resistente, la información relevante debe intercambiarse a través de las interfaces con los enlaces vecinos 1, el productor de energía, las instalaciones de almacenamiento e incluso las plantas del cliente.

F. Interfaces de enlace

Con la información que se intercambiará a través de estas interfaces, es posible que cada enlace 1 realice una operación con (n-1) seguridad, equilibre la potencia activa, calcule la tensión y la estabilidad angular, optimice la operación, para definir esquemas de eliminación efectivos, para mantener la reserva primaria, secundaria y terciaria confiable, y para facilitar la respuesta de la demanda. En la Tabla 1, se muestran las entidades eléctricas relevantes de la interfaz para los tres tipos de interfaces enlace a enlace, enlace a productor y enlace a almacenamiento.

ENTIDADES ELÉCTRICAS PARA DIFERENTES TIPOS DE INTERFACES DE ENLACE

	Entidades eléctricas a intercambiar(*)	Enlace a Enlace	Complejo_Enlace a Productor(**)	Complejo_Enlace a Almacenamiento
Muy rápido	f_{media}	√	√	√
	$V_{media}, \delta_{media}$	√	√	√
	P_{media}, Q_{media}	√	√	√
	$P_{punto_configuración}, Q_{punto_configuración}$	√	√	√
Rápido	$P_{des} \pm \Delta P, Q_{des} \pm \Delta Q$ Tiempo entregado Intervalo de tiempo	√	√	√
	$P_{des}^{siguiente\ hora} \pm \Delta P, Q_{des}^{próxima\ hora} \pm \Delta Q$	√	√	√
Lento	$P_{próximo\ día\ Calendario} \pm \Delta P, Q_{próximo\ día\ Calendario} \pm \Delta Q$	√	√	√
	Característica de carga estática y dinámica (agrupada) $k_{PV}, k_{QV}, k_{Pf}, k_{Qf}...$	√		√
	I_{equiv}, Z_{equiv}	√		
Lento	Parámetros dinámicos equivalentes del Generador como $x_d, x'_d, \dots, T_{d0}, \dots$	√	(***)	
	Regulador de tensión equivalente, parámetros del excitador estático como K_A, T_A, \dots	√	(***)	
	Gobernadores equivalentes, parámetros de turbina como K_1, T_{G1}, \dots	√	(***)	
	Calendario de capacidad de respuesta a la demanda	√		√
	Calendario de reservas (secundario, terciario)	√	√	√

*datos relacionados con el nodo de límite

**P y Q pueden tener solo un signo. Los productores solo inyectan energía en la red

***los datos estáticos no deben intercambiarse a través de la interfaz

Tabla 1

F.1 La interfaz enlace a enlace

La interfaz enlace a enlace es la más extensa. Para realizar el equilibrio de producción de carga, el horario diario $P_{\text{Calendario}}^{\text{próximo día}} \pm \Delta P$ y horario de la próxima hora $P_{\text{des}}^{\text{próxima hora}} \pm \Delta P$ se intercambian. ΔP es el soporte de la capacidad de potencia activa (reserva giratoria) que cada enlace 1 proporciona durante la contingencia. Las condiciones pueden intercambiarse adicionalmente para permitir los cálculos de seguridad (n-1). En este caso, también los recursos de potencia reactiva disponibles $Q_{\text{Calendario}}^{\text{próximo día}} \pm \Delta Q$ y $Q_{\text{des}}^{\text{próxima hora}} \pm \Delta Q$ deben conocerse. Para realizar los cálculos de tensión y de estabilidad angular, los datos dinámicos para el generador equivalente dinámico y el excitador equivalente, el regulador de tensión, la turbina y el regulador pueden calcularse en tiempo real e intercambiarse entre los enlaces 1. Los enlaces 1 también pueden ofrecerse servicios entre sí mediante reservas secundarias y terciarias. La frecuencia f_{media} puede usarse para habilitar el proceso de sincronización de Redes de Enlace, que han estado funcionando en modo isla. La respuesta a la demanda es el problema más urgente hoy en día y la solicitud de una disminución de carga o un aumento de carga se incluye en la interfaz en forma de programa y valor instantáneo deseado, es decir, $P_{\text{des}} \pm \Delta P$ y/o $Q_{\text{des}} \pm \Delta Q$. En el capítulo H., se proporciona una aplicación concreta del enlace 1 para resolver un caso de uso para realizar el equilibrio de la respuesta a la demanda. En dependencia de los tipos de enlace involucrados, puede distinguirse entre la interfaz enlace HV a enlace HV; la interfaz enlace HV a enlace HV, la interfaz enlace LV a enlace MV, la interfaz MV y enlace LV a enlace CP.

Interfaz enlace HV a enlace HV

La interfaz de enlace HV a enlace HV es la interacción típica entre dos áreas del TSO. Una de las funciones cruciales de la HV o, más bien, de los enlaces HV es la producción de carga equilibrada en tiempo real, que normalmente se realiza a través del Control de Generación Automática (AGC). El enlace HV 1 es la red incluida en el área de control del AGC. El AGC es el control secundario del enlace HV, aunque se define solo para la potencia real en bases comerciales, mientras que en el modelo "Suministro de Energía de Red en Cadena" está previsto que se actualice con objetivos técnicos. Un aspecto del AGC es suministrar las obligaciones de intercambio programadas a otras utilidades interconectadas o, más bien, enlaces HV vecinos. El enlace HV puede actualizarse con un control secundario Volt/var.

Interfaz de enlace HV a enlace MV

La interfaz de enlace HV a enlace MV es la interacción típica entre la HVG y la MVG, realizada técnicamente a través del transformador de suministro HV/MV. Hasta ahora, desde el punto de vista de la HVG, es decir, red de enlace HV, la MVG, es decir, la red de enlace MV, se modeló mediante el uso de una carga de alimentación agrupada. En presencia de las DGs y los flujos bidireccionales en el nivel del transformador de suministro, este tipo de modelado ya no es adecuado. Todas las entidades definidas para la interfaz de enlace a enlace ahora pueden intercambiarse para garantizar la coexistencia de los dos tipos de enlace. El control secundario del enlace HV existente para la frecuencia y/o la potencia real puede ampliarse con el intercambio a través de los transformadores de suministro y puede enviar los puntos de configuración $P_{\text{punto de configuración}}$ calculado en tiempo real. Estos puntos de configuración pueden tratarse como restricciones dinámicas desde el control secundario del enlace MV. El intercambio de información se describe en el punto H. mediante un proceso de postura del sistema eléctrico. El mismo esquema también puede usarse para las entidades de tensión y/o potencia reactiva.

Interfaz de enlace MV a enlace LV

La interfaz de enlace MV a enlace LV es la interacción típica entre la MVG y la LVG, realizada técnicamente a través del transformador de distribución MV/LV. Hasta ahora, desde el punto de vista de la MVG, es decir, la red de enlace MV, la LVG, es decir, la red de enlace LV, se modeló mediante el uso de la carga del alimentador agrupado. Similar al caso descrito anteriormente, también aquí, en presencia de las DG y los flujos bidireccionales en el nivel del transformador de distribución, este tipo de modelado ya no es adecuado. Además, el control secundario del enlace MV enviará el $P_{\text{punto de configuración}}$ y $Q_{\text{punto de configuración}}$ al control secundario del enlace MV, que los trata como restricciones. Aquí, la restauración del servicio es más relevante que el cálculo de seguridad (n-1). ΔP y ΔQ se usarán para fines de restauración. Con la creciente participación de las DGs, también el comportamiento del enlace dinámico es relevante y puede calcularse para cada tipo de enlace. Como resultado, el conjunto completo de la interfaz de enlace a enlace definido en la Tabla 1 también es relevante aquí.

Interfaz de enlace LV a enlace CP

La interfaz de enlace LV a enlace CP es la interacción típica entre la LVG, es decir, la red de enlace LV y la casa. El enlace 1 es modular, cohesivo y cerrado en sí mismo, cumpliendo así las condiciones de privacidad de datos. A diferencia del estado de la técnica, donde ciertos electrodomésticos son encendidos por operadores de red y proveedores de energía, en la arquitectura descrita, la casa es una caja negra. El operador de red puede interactuar con las casas a través de la interfaz, que proporciona información solo sobre su intercambio y sus necesidades ($P_{\text{des}} \pm \Delta P$, $Q_{\text{des}} \pm \Delta Q$). El operador de la red o el proveedor de energía no pueden acceder a la información sobre los electrodomésticos que están actualmente en funcionamiento desde el exterior. El hogar puede realizar el control de los electrodomésticos mediante el uso de Internet, etc., pero la comunicación con la red se realizará de forma segura,

protegiendo así los sistemas de suministro de energía de los ataques cibernéticos. El enlace LV puede enviar los puntos de configuración negociados $P_{\text{punto de configuración}}$, $Q_{\text{punto de configuración}}$ al enlace CP. El intercambio en tiempo real con la red puede supervisarse por el control secundario del enlace CP. Los horarios diarios y horarios de P y Q pueden generarse por una poderosa Unidad de Administración del Hogar. Todas las entidades para la interfaz enlace a enlace definida en la Tabla 1 pueden usarse además para esta combinación de enlaces, y pueden instalarse reguladores de tensión escalonado en los niveles de LV y CP.

F.2 La interfaz enlace a productor

La interfaz enlace a productor es la interacción típica entre los TSOs y el proveedor de energía. Este tipo de interfaz puede establecerse a nivel de transmisión, es decir, entre la red de enlace HV y el productor de electricidad inyectando a través de transformadores elevadores en la HVG. La misma interfaz puede usarse además para la interacción entre el productor de enlaces MV y LV. Este tipo de interfaz no es relevante para el enlace CP porque la red de enlace CP y el productor de electricidad del hogar tienen el mismo propietario.

F.3 La interfaz enlace a almacenamiento

La interfaz enlace a almacenamiento es la interacción típica, por ejemplo, entre los TSOs y las centrales de bombeo de energía hidroeléctrica. Hasta ahora, el almacenamiento se trataba como parte de las centrales eléctricas de generación, porque no eran más frecuentes. Pero con el nuevo desarrollo, el número de unidades de almacenamiento aumenta continuamente. Desde el punto de vista de la red, se comportan de manera idéntica: almacenan energía durante las horas de menor actividad y luego la liberan a pedido. Las entidades definidas en la Tabla 1 son suficientes para soportar este comportamiento y son relevantes para todos los tipos de enlace HV, MV y LV. Este tipo de interfaz no es relevante para el enlace CP porque la red de enlace CP y las unidades de almacenamiento de electricidad doméstica, potencialmente baterías de automóviles eléctricos tienen el mismo propietario.

G. La operación de enlace

En el modelo de "Suministro de Energía de Red en Cadena", se prevé un operador propio para cada tipo de enlace o paquete de enlaces. El enlace CP es especial, porque el propietario es el Señor de la Casa, que normalmente no es consciente de ello. Por esa razón, puede realizarse una operación activa confiable de este tipo de enlace si está completamente automatizado.

Las Figuras 8a - 8c muestran la composición del sistema/operadores de enlace para diferentes tipos de enlaces y redes. En realidad, existen dos tipos de operadores de sistemas: el TSO y el Operador de Sistemas Independientes (ISO) para la red europea (Figura 8a) y norteamericana (Figura 8b), respectivamente, que son responsables de la red de transmisión. A diferencia de los TSOs en Europa, los ISOs en Norteamérica también son responsables de la red de subtransmisión, y el DSO es responsable de la red de distribución. Los DSOs en Norteamérica son responsables de la red primaria y secundaria, mientras que los DSOs en Europa normalmente son responsables de la red de subtransmisión, la red de tensión media y la red de baja tensión.

Las Figuras 8a y 8b muestran las áreas operativas definidas por el modelo "Suministro de Energía de Red en Cadena" al mantener las estructuras existentes. En el tipo europeo, el TSO es responsable del enlace HV, mientras que el DSO es responsable del conglomerado de los tipos de enlace de la siguiente manera: tipos de enlace HV, MV y LV, ver Figura 8a. En el tipo norteamericano, el ISO es responsable del enlace HV, mientras que el DSO es responsable del tipo de enlace MV y LV, ver Figura 8b. La Figura 8c muestra la estructura propuesta en el contexto del modelo "Suministro de Energía de Red en Cadena", que proporciona la desagregación de la operación de distribución en la operación de la red media/primaria y baja/secundaria, es decir, la operación del enlace MV y LV. En este caso, la red eléctrica será operada por tres tipos de operadores: Operadores de Sistemas de Alta, Media y Baja Tensión (HVSO, MVSO y LVSO) que son responsables del enlace HV, el enlace MV y el enlace LV, respectivamente.

Cada operador de enlace o paquete de enlaces ya sea HVSO, MVSO o LVSO, incluido incluso el Señor de la Casa (más exactamente la Unidad de Automatización del Hogar), puede:

- equilibrar la carga y la inyección en tiempo real, donde la carga representa la suma de la carga nativa del sistema y el intercambio programado a otros enlaces, mientras que la inyección representa la suma de la generación, la inyección desde dispositivos de almacenamiento y el intercambio programado a otros enlaces;
- gestionar activamente su enlace o el paquete de enlaces;
- supervisar su red de enlaces o el paquete de red de enlaces;
- acceder a todos los datos del enlace;
- intercambiar los datos con los enlaces vecinos y todos los dispositivos conectados directamente a la propia red de enlaces o al paquete de red de enlaces;
- tener derecho a usar y ofrecer servicios a los vecinos;
- tener derecho a disputar con los vecinos para garantizar un funcionamiento confiable y estable de su propia red de enlaces;

- decidir las acciones que deben tomarse para una operación segura y óptima del propio enlace o paquete de enlaces;
- ser incentivado a invertir en soluciones adecuadas, más allá de los refuerzos físicos para aumentar la flexibilidad del enlace; y
- facilitar mercados minoristas efectivos y que funcionen bien.

H. Procesos de postura del sistema de energía

La funcionalidad del método se demuestra mediante dos procesos de postura de sistemas de energía: respuesta a la demanda y proceso de seguridad dinámico.

H.1 Respuesta a la demanda

El enlace que se describió anteriormente permite, entre otros, una red eléctrica con enlaces, que puede verse como cajas negras. Por lo tanto, también se proporciona un método para controlar tal red eléctrica con enlaces de cajas negra. La Figura 9 muestra un caso de uso de respuesta a la demanda cuando una línea HV está sobrecargada sobre la base de la estructura propuesta de enlaces individuales 1 que tienen las interfaces de acuerdo con la Tabla 1.

En la Figura 9, un HVSO identifica una línea ligeramente sobrecargada, donde en la próxima hora se espera un aumento de la sobrecarga de hasta el 8%. Al usar las aplicaciones relevantes, los nodos de límite A^H y B^H se definen en su red, donde la disminución de la carga debe realizarse con un 2% y un 6%, respectivamente. Ambos enlaces 1 son enlaces MV y son operados por el mismo operador MVSO-A. Posteriormente, el HVSO inicia una solicitud de disminución de la demanda para disminuir la demanda en este nodo de límite y propone dos nuevos puntos de configuración acompañados por el tiempo de duración y la configuración.

Después de recibir la solicitud de nuevos puntos de configuración, el MVSO-A investiga todas las posibilidades para lograr la disminución de la demanda mediante el uso de sus propios recursos, por ejemplo, la Reducción de la Tensión de Conservación, CVR. La reducción del 2% de la potencia que se inyecta a través del nodo límite A^H en el enlace MV 1 puede realizarse por la CVR. No se necesitan otras acciones. Se aprueba el nuevo punto de configuración y se notifica al HVSO. La reducción deseada en el nodo de límite B^H es mayor que en A^H en aproximadamente un 6%, y solo puede alcanzarse una parte de este, aproximadamente un 5,4 %, realizando la CVR en enlace MV 2. Por lo demás, alrededor del 0,6 % de reducción de la demanda, otras acciones son necesarias. Después de investigar su propia red y los horarios del día 1, el MVSO-A identifica los nodos de límite $A2^M$ y $B2^M$ como los más adecuados, lo que debería generar una reducción del 0,4 % y del 0,2 %, respectivamente. El enlace LV-1 y el enlace LV-2 están conectados a los nodos de límite $A2^M$ y $B2^M$, respectivamente. Ambos enlaces 1 son operados por el LVSO-B. Posteriormente, el MVSO-A inicia una solicitud de disminución de la demanda para disminuir la demanda en estos nodos de límite y propone dos nuevos puntos de configuración, acompañados por la configuración y el tiempo de duración.

Después de recibir la solicitud de los nuevos puntos de configuración, el LVSO-B investiga todas las posibilidades para darse cuenta de la disminución de la demanda. No puede realizar la CVR en su propio enlace 1 y, por lo tanto, pasa la solicitud a los prosumidores que tienen un contrato para participar en el proceso de respuesta a la demanda. Después del análisis, resulta que tres nodos de límite son los más adecuados para realizar la reducción de la demanda: $A1^L$ en el enlace LV-1 y $A2^L$ y $B2^L$ en el enlace LV-2. En consecuencia, el LVSO-B inicia una solicitud de disminución de la demanda para disminuir la demanda en estos nodos de límite y requiere 3 nuevos puntos de configuración, 0,4 %, 0,01 % y 0,01 %, respectivamente. La solicitud puede ir acompañada de la configuración y el tiempo de duración de los nuevos puntos de configuración.

El HMU-123 está conectado al nodo límite $A1^L$. Después de recibir la solicitud de un nuevo punto de configuración, el HMU-123 investiga todas las posibilidades para darse cuenta de la disminución de la demanda. Aprueba el nuevo punto de configuración y notifica al LVSO-B. La HMU-945 y la HMU-1001 usan además el mismo procedimiento de aprobación y notificación. Después de recopilar todas las respuestas, el LVSO-B aprueba los nuevos puntos de configuración para los nodos de límite $A2^M$ y $B2^M$ y notifica al MVSO-A.

Con las aprobaciones de los nodos de límite relevantes, el MVSO-A puede cumplir los requisitos en el nodo de límite B^H , aprobar deductivamente el nuevo punto de configuración y notificar al HVSO. El HVSO envía los puntos de configuración definitivos acompañados por la configuración y el tiempo de duración. El MVSO-A realiza los últimos cambios en los horarios del punto de configuración y envía la información al LVSO-B, quien repite el mismo procedimiento que el MVSO-A. Las HMU actúan de manera similar.

Por lo tanto, al supervisar y controlar los flujos en los nodos de límite con la red de enlace de mayor tensión, el control secundario del enlace permite la respuesta de demanda cruzada por todos los niveles de tensión hasta la carga nativa.

H.2 Seguridad dinámica

Las Figuras 10a y 10b muestran el proceso de seguridad dinámico para el Enlace HV cuando se enciende un nuevo DG en la red del Enlace MV 2. Aunque el DG no es parte del Enlace MV 2, afecta su comportamiento dinámico. Por lo tanto, los parámetros para el generador dinámico equivalente DEG_{nuevo} y la impedancia equivalente EI_{nueva} relacionada con el BM se calcularán en línea. Los nuevos valores calculados se comprometerán con el Enlace HV en el BLiN B^H si son diferentes de los anteriores, ver Figura 10a. Por lo tanto, el Enlace HV es notificado de que uno de los vecinos ha cambiado el comportamiento dinámico. Por esta razón, el Enlace HV iniciará el cálculo de la estabilidad dinámica (angular y tensión) de su propio Enlace con los parámetros actualizados en el modelo de cálculo, ver Figura 10b.

10 I. Ejemplo de Interacción Elástica entre los Enlaces

Las Figuras 11a, 11b, 11c muestran una representación esquemática de una cadena de control Volt/var elástica en un tipo de sistema de energía típico europeo. Allí, la red de transmisión está bajo administración y operación del Operador del Sistema de Transmisión, TSO, mientras que la subtransmisión y la red de distribución están bajo administración y operación del Operador del Sistema de Distribución, DSO. Cada uno de ellos tiene su propio centro de control de operaciones, como puede verse en la Figura 11a. Hay dos Enlaces HV establecidos. Uno está configurado para la red de transmisión, Enlace HV^{Trans} , mientras que el otro para la red de subtransmisión, Enlace $HV^{Sub-Trans}$. En el área DSO, también se configuran el Enlace MV y el Enlace LV. Los hogares están representados por los Enlaces de la planta del cliente, Enlace CP. El señor de la casa es responsable de su Enlace CP. Por lo tanto, en total hay cinco elementos de enlace en esta configuración. Se distinguen dos tipos de interfaces: interfaces externas e internas. Las interfaces externas están sujetas a la seguridad y privacidad de los datos, mientras que las interfaces internas no lo están. Las interfaces entre los dos Enlace HV son interfaces externas porque la información se intercambia entre dos utilidades diferentes, a saber, el TSO y el DSO. Por otro lado, las interfaces entre el Enlace HV, MV y LV son interfaces internas porque la información se intercambia entre aplicaciones de la misma utilidad, por ejemplo, entre los lazos de control secundario en los niveles LV y MV, etc. La interfaz entre el Enlace LV y el Enlace CP es una interfaz externa porque la información se intercambia entre la utilidad, el DSO y el señor de la casa, o específicamente entre las unidades de administración de la casa, HMU. La Figura 11b muestra los lazos de control Volt/var de cada enlace. El control secundario se introdujo recientemente a gran escala en las diferentes regiones o porciones de la red y se usa como un instrumento de interacción base sostenible y resistente, como puede verse en la Figura 11c. La aplicación Volt/var calcula los puntos de configuración relevantes respetando las restricciones. La Figura 12 muestra un algoritmo del control secundario generalizado Volt/var, VVSC, del Enlace, con la propiedad de actuar en la cadena. Los disparadores son una solicitud periódica, espontánea o manual, que inicia el cálculo del estado real de la red, que preferentemente es un estimador de estado. Se verifican los límites de operación y, en caso de que existan infracciones, se iniciarán los cálculos del VVSC. Si no hay violaciones de límites, se verifican las condiciones óptimas de operación, por ejemplo, por minimización de pérdidas. En el caso de que el sistema funcione de manera óptima, no se realizará ninguna acción, pero si no, los cálculos del VVSC se iniciarán después de la actualización dinámica de las listas de restricciones y variables de control. La variable de intercambio común entre los Enlaces puede ser una variable de control o una restricción en dependencia de la condición de operación de la red. La Figura 13a muestra el funcionamiento del sistema con una contingencia. Se descubren violaciones en la red del Enlace $HV^{Sub-Trans}$. Por lo tanto, la aplicación VVSC HV^S se ejecuta para encontrar una solución adecuada sin infracciones. La Figura 13b muestra el cálculo de los nuevos puntos de configuración/restricciones y la solicitud de cambio correspondiente. Si no se encuentra una solución mediante el uso del dispositivo actual, las variables de control operacional y las restricciones, existe la posibilidad de relajar la restricción de operación en el punto B. Su estado puede cambiarse de restricción a variable y el VVSC HVS calcula el valor adecuado $Q_{HV^{Sub-trans}}^{HV^{Trans}}$. Para garantizar una conexión resistente y confiable, se envía una solicitud al Enlace HV^{Trans} para aprobar el nuevo punto de configuración. El Enlace HV^{Trans} activa el VVSC HV^T y verifica el nuevo valor cambiando el estado del punto de configuración A de variable a restricción. La Figura 13c muestra los procesos de aprobación y configuración de la entidad en el punto A. Se seguirá el mismo procedimiento para aliviar las violaciones u optimizar la operación en otros tipos de Enlace (otras partes de la red).

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar una red eléctrica con al menos dos primeros elementos de enlace, cada uno compuesto por al menos una parte de la red y un control secundario para calcular los puntos de configuración, en donde el tamaño de la parte de la red se define por el área donde se configura el control secundario, cada primer elemento de enlace (1) tiene al menos un nodo de enlace (BLiN) para acoplarse a al menos un segundo elemento de enlace (1) similar al primer elemento de enlace (1) y tiene uno o más nodos productores (BPN), uno o más nodos de carga (BLoN) y uno o más nodos de almacenamiento (BSN), caracterizado por, en cada primer elemento de enlace (1), recibir un primer valor de demanda en el nodo de enlace (BLiN); calcular un punto de configuración en base al primer valor de demanda para cada uno de tales nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) del primer elemento de enlace respectivo (1); determinar una diferencia entre el primer valor de demanda y un valor real que se alcanza al aplicar los puntos de configuración a tales nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) del primer elemento de enlace (1); si la diferencia determinada está por encima de un umbral, enviar un porcentaje de la diferencia determinada como un segundo valor de demanda al menos a un segundo elemento de enlace (1), en donde tales al menos dos primeros elementos de enlace (1) están acoplados a través de sus nodos de enlace (BLIN).
2. El método de la reivindicación 1, en donde tal valor real es un valor calculado que podría alcanzarse si los puntos de configuración se aplicaran a tales al menos un nodo productor (BPN), nodo de carga (BLoN) y nodo de almacenamiento (BSN) del primer elemento de enlace respectivo (1).
3. El método de la reivindicación 2, en donde los puntos de configuración se aplican a los nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) del primer elemento de enlace respectivo (1) después de determinar tal diferencia.
4. El método de la reivindicación 1, en donde tal valor real es un valor medido que se alcanza después de que los puntos de configuración se han aplicado a tales al menos un nodo productor (BPN), nodo de carga (BLoN) y nodo de almacenamiento (BSN) del primer elemento de enlace respectivo (1).
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 4, que comprende, después de determinar la diferencia, enviar una solicitud desde el primer elemento de enlace (1) respectivo a través del nodo de enlace (BLiN) a al menos un segundo elemento de enlace (1), recibir un valor de respuesta de tal segundo elemento de enlace (1) a través del nodo de enlace (BLiN), y calcular tal porcentaje sobre la base de tal valor de respuesta.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 5, en donde al menos uno de los primer y segundo valores de demanda está acompañado por al menos uno de una duración y un tiempo de inicio.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 6, en donde los valores intercambiados a través del nodo de enlace (BLiN) son al menos uno de los siguientes: una potencia activa (P_{media} , $P_{punto\ de\ configuración}$, P_{des} , $P_{programado}$), una potencia reactiva (Q_{media} , $Q_{punto\ de\ configuración}$, Q_{des} , $Q_{programado}$), una tensión (V_{media}), un factor de potencia (δ_{medio}), una característica de carga estática o dinámica (k_{PV} , k_{QV} , k_{Pf} , k_{Qf}), una corriente activa (I_{equiv}), una corriente reactiva (Z_{equiv}), un parámetro generador dinámico equivalente (x_d , x_q , x_b , x'_d , x'_q , x''_b , x''_d , x''_q , x''_b , T''_{d0} , T''_{q0} , T''_{d0} , T''_{q0}), un parámetro de excitador estático equivalente (K_A , T_A , T_R , K_S , v_{max}), un parámetro de turbina equivalente (K_1 , T_{G1} , R_{MAX}).
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 7, en donde los valores intercambiados a través de uno de tales nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) son al menos uno de los siguientes: una potencia activa (P_{media} , $P_{punto\ de\ configuración}$, P_{des} , $P_{programado}$), una potencia reactiva (Q_{media} , $Q_{punto\ de\ configuración}$, Q_{des} , $Q_{programado}$), una tensión (V_{media}), un factor de potencia (δ_{medio}), una característica de carga estática o dinámica (k_{PV} , k_{QV} , k_{Pf} , k_{Qf}).
9. Una red eléctrica que comprende generadores (2), cargas (4) y almacenes (3), y al menos dos elementos de enlace (1), en donde cada elemento de enlace (1) comprende al menos una parte de la red y un control secundario para calcular el conjunto puntos, en donde el tamaño de la parte de la red se define a partir del área donde se configura el control secundario, y al menos un nodo de enlace (BLiN) para el acoplamiento a al menos un elemento de enlace adicional (1) similar al elemento de enlace (1), uno o más nodos productores (BPN), uno o más nodos de carga (BLoN) y uno o más nodos de almacenamiento (BSN), y un procesador acoplado a tales nodos (BLIN, BPN, BLoN, BSN),

- caracterizado porque** tal procesador está configurado para recibir un primer valor de demanda en el nodo de enlace (BLiN);
 calcular un punto de configuración en base al primer valor de demanda para cada uno de tales al menos un nodo productor (BPN), nodo de carga (BLoN) y nodo de almacenamiento (BSN) del elemento de enlace respectivo (1);
 5 determinar una diferencia entre el primer valor de demanda y un valor real que se alcanza al aplicar los puntos de configuración a tales al menos un nodo productor (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) del elemento de enlace respectivo (1);
 10 si la diferencia determinada está por encima de un umbral, enviar un porcentaje de la diferencia determinada como un segundo valor de demanda a al menos un elemento de enlace adicional (1),
 tales al menos dos elementos de enlace se acoplan a través de sus nodos de enlace (BLiN), y
 cada uno del elemento de enlace (1) está acoplado a través de uno de sus nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) a uno de los generadores (2), carga (4) y almacenamiento (3).
 15
10. La red eléctrica de acuerdo con la reivindicación 9, que tiene al menos tres de tales elementos de enlace (1), en donde
 cada generador (2), carga (4) y almacenamiento (3) acoplado al primer elemento de enlace (1) opera en un nivel de alta tensión,
 20 cada generador (2), carga (4) y almacenamiento (3) acoplado al segundo elemento de enlace (1) opera en un nivel de tensión media, y
 cada generador (2), carga (4) y almacenamiento (3) acoplado al tercer elemento de enlace (1) opera en un nivel de baja tensión.
- 25 11. La red eléctrica de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde el procesador de cada elemento de enlace (1) se configura además para que, después de determinar la diferencia,
 enviar una solicitud desde el elemento de enlace respectivo (1) a través del nodo de enlace (BLiN) a al menos un elemento de enlace adicional (1), recibir un valor de respuesta de tal elemento de enlace adicional (1) a
 30 través del nodo de enlace (BLiN), y
 calcular tal porcentaje sobre la base de tal valor de respuesta.
12. La red eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 9 a la 11, en donde el procesador de cada elemento de enlace (1) se configura para enviar además al menos uno de una duración y un tiempo de inicio cuando se intercambian al menos uno del primero y el segundo valor de demanda.
 35
13. La red eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 9 a la 12, en donde los valores intercambiados a través del nodo de enlace (BLiN) son al menos uno de los siguientes: una potencia activa (P_{media} , $P_{punto\ de\ configuración}$, P_{des} , $P_{programado}$), una potencia reactiva (Q_{media} , $Q_{punto\ de\ configuración}$, Q_{des} , $Q_{programado}$), una tensión (V_{media}), un factor de potencia (δ_{medio}), una característica de carga estática o dinámica (k_{PV} , k_{QV} , k_{Pf} , k_{Qf}),
 40 una corriente activa (I_{equiv}), una corriente reactiva (Z_{equiv}), un parámetro generador dinámico equivalente (X_d , X_q , X_b , X'_d , X'_q , X''_d , X''_q , X''_b , T'_{d0} , T'_{q0} , T''_{d0} , T''_{q0}), un parámetro de excitador estático equivalente (K_A , T_A , T_R , K_S , v_{max}), un parámetro de turbina equivalente (K_1 , T_{G1} , R_{MAX}).
- 45 14. La red eléctrica acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 9 a la 13, en donde los valores intercambiados a través de uno de tales nodos productores (BPN), nodos de carga (BLoN) y nodos de almacenamiento (BSN) son al menos uno de los siguientes: una potencia activa (P_{media} , $P_{punto\ de\ configuración}$, P_{des} , $P_{programado}$), una potencia reactiva (Q_{media} , $Q_{punto\ de\ configuración}$, Q_{des} , $Q_{programado}$), una tensión (V_{media}), un factor de potencia (δ_{medio}), una característica de carga estática o dinámica (k_{PV} , k_{QV} , k_{Pf} , k_{Qf}).

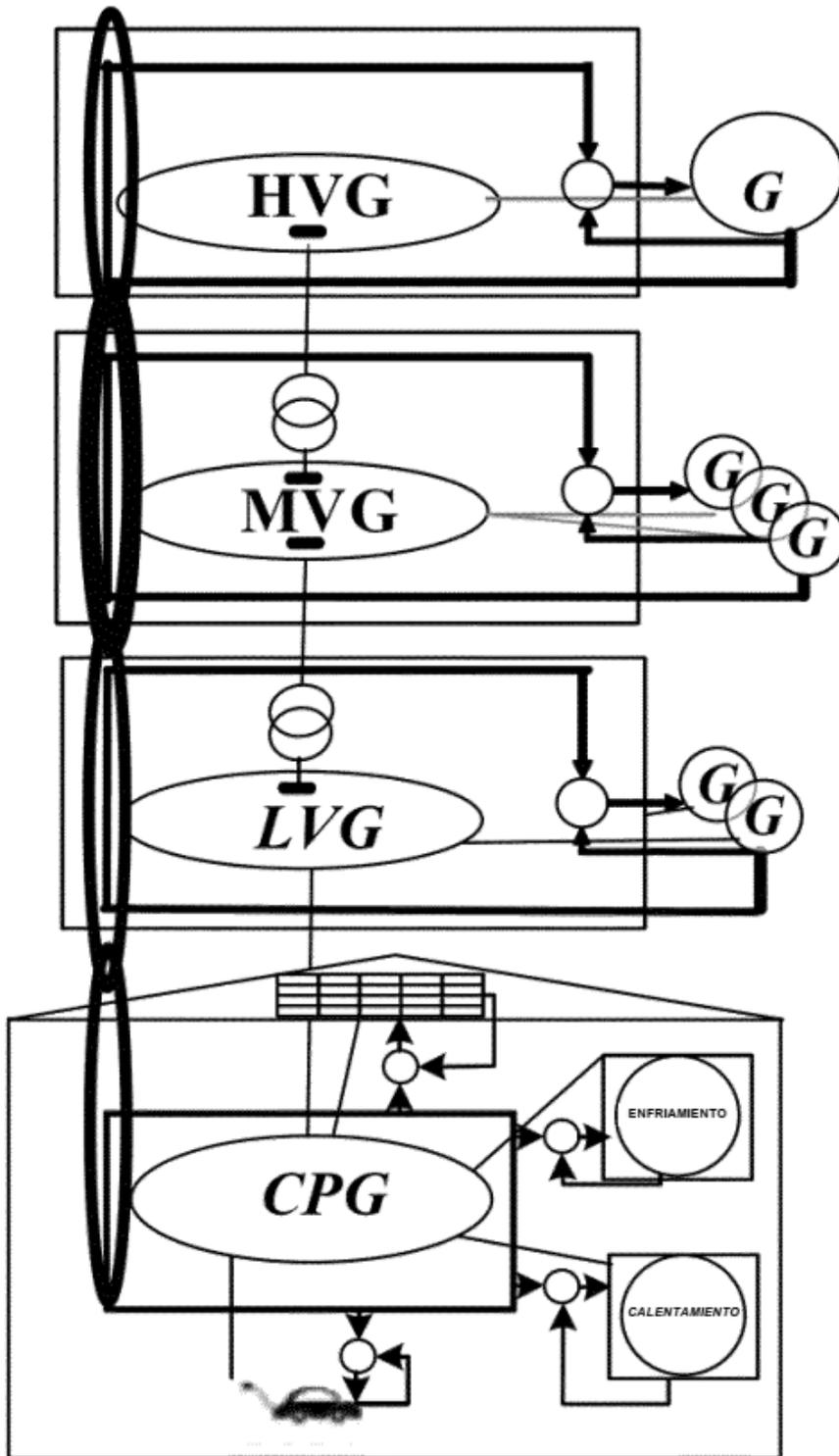


Figura 1

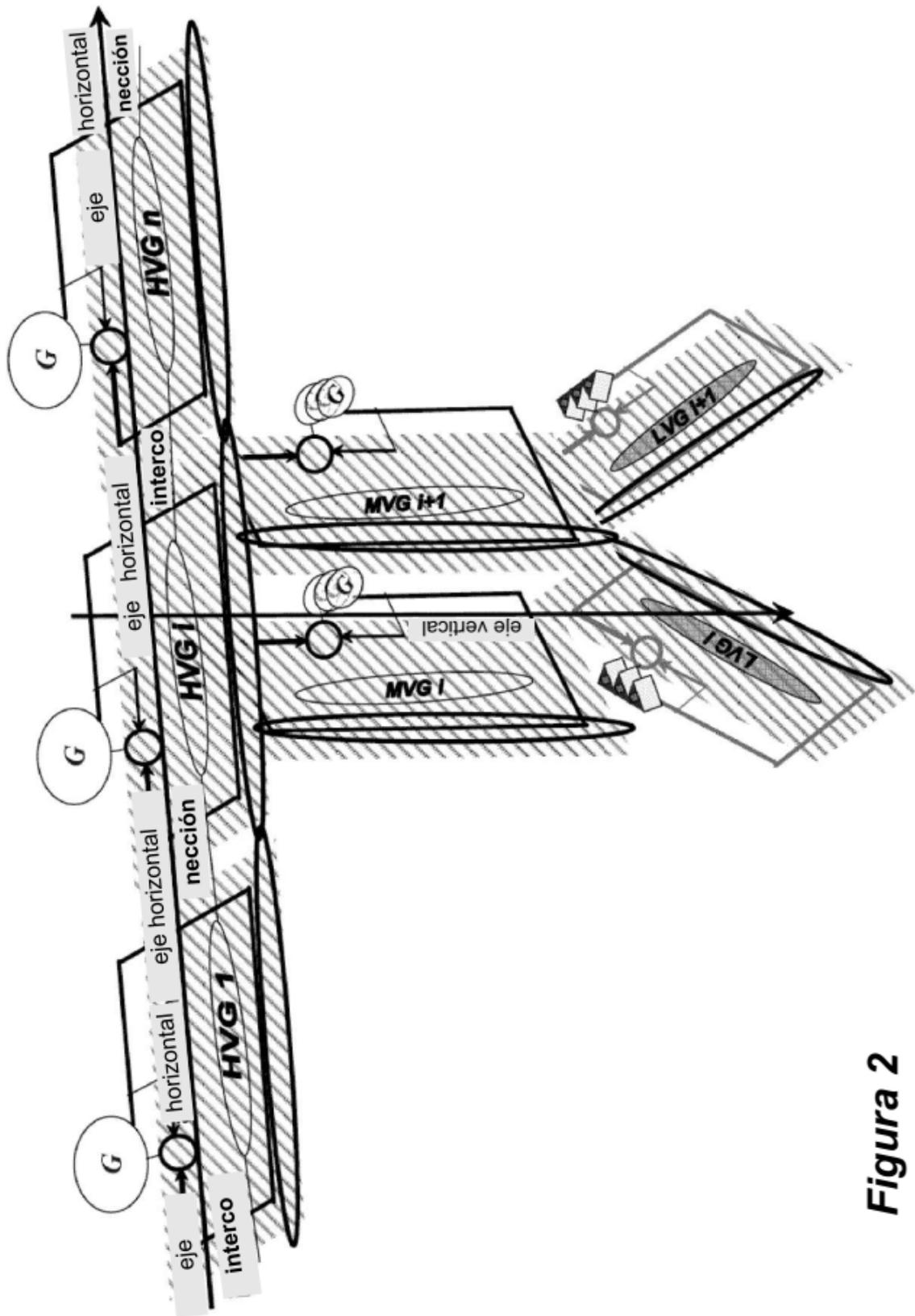


Figura 2

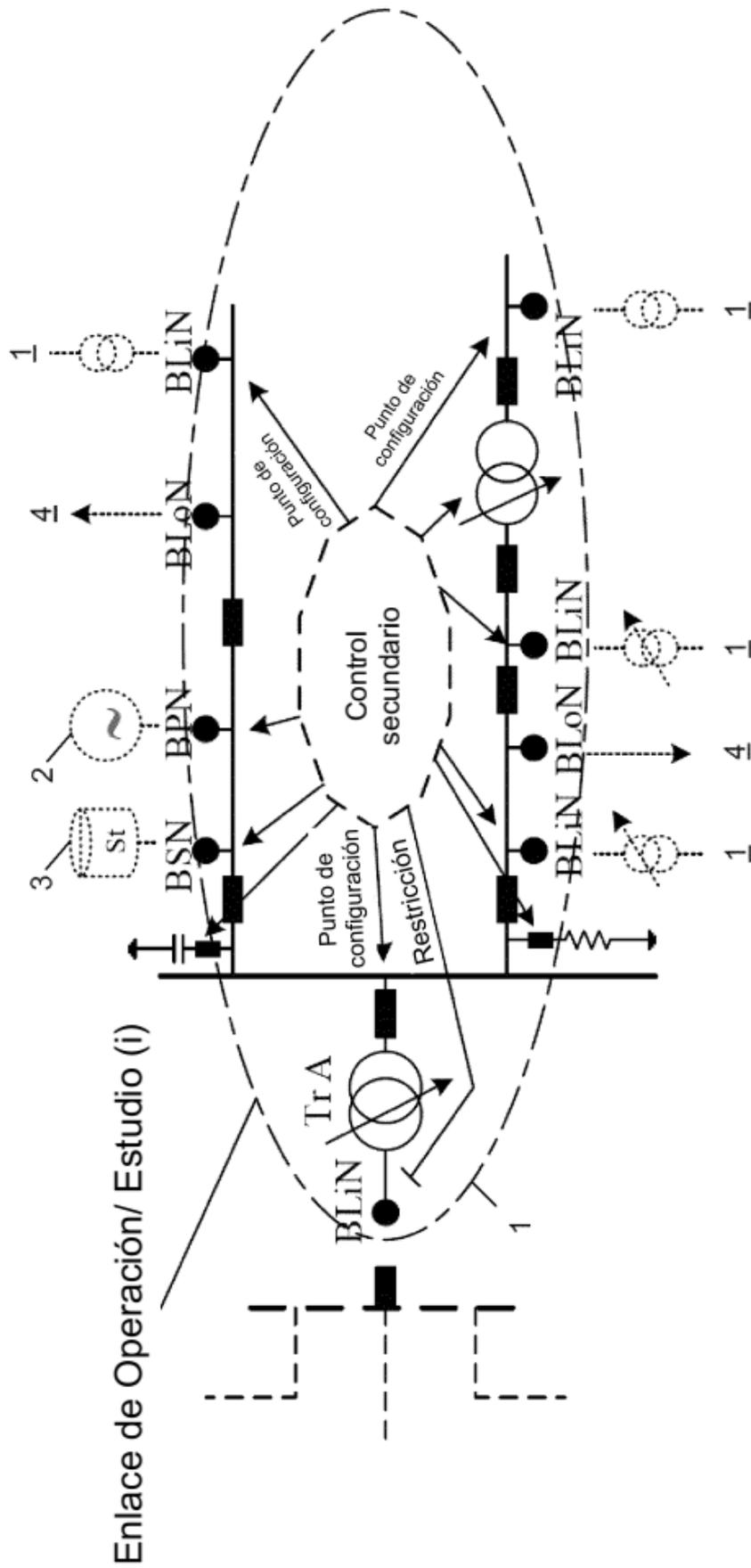


Figura 3a

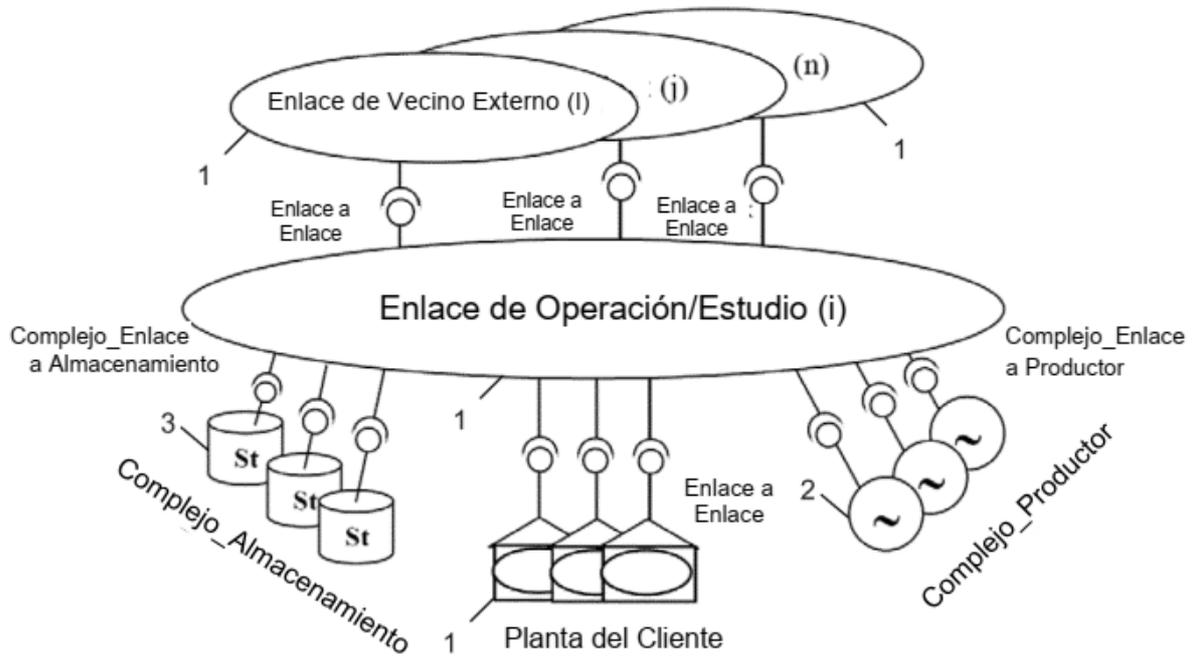


Figura 3b

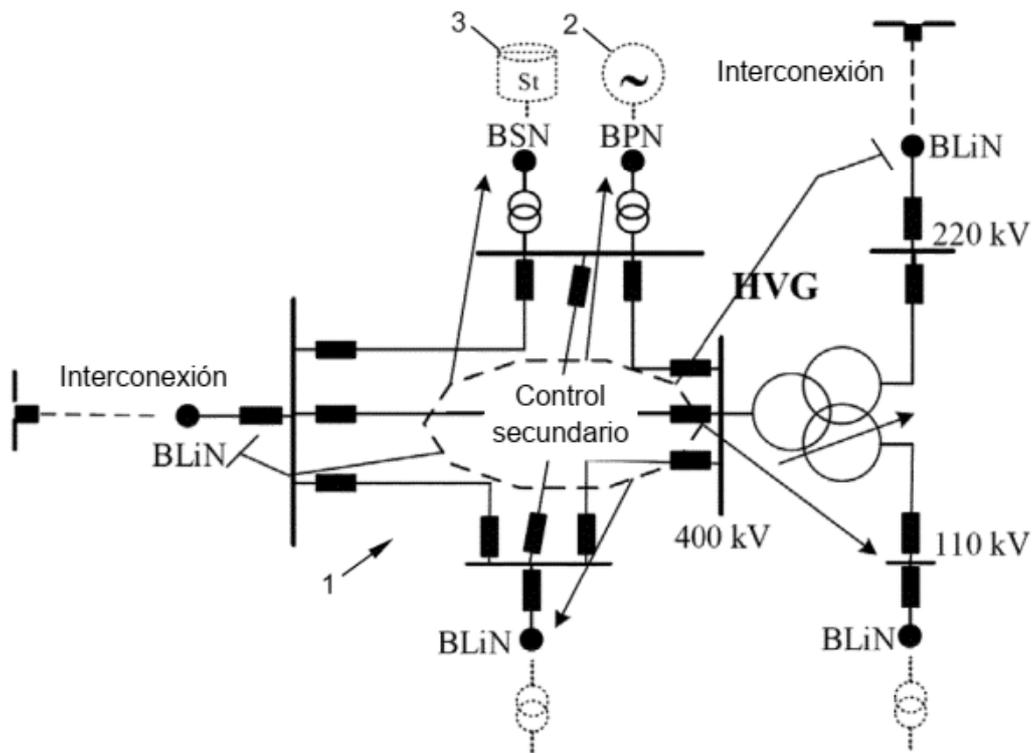


Figura 4a

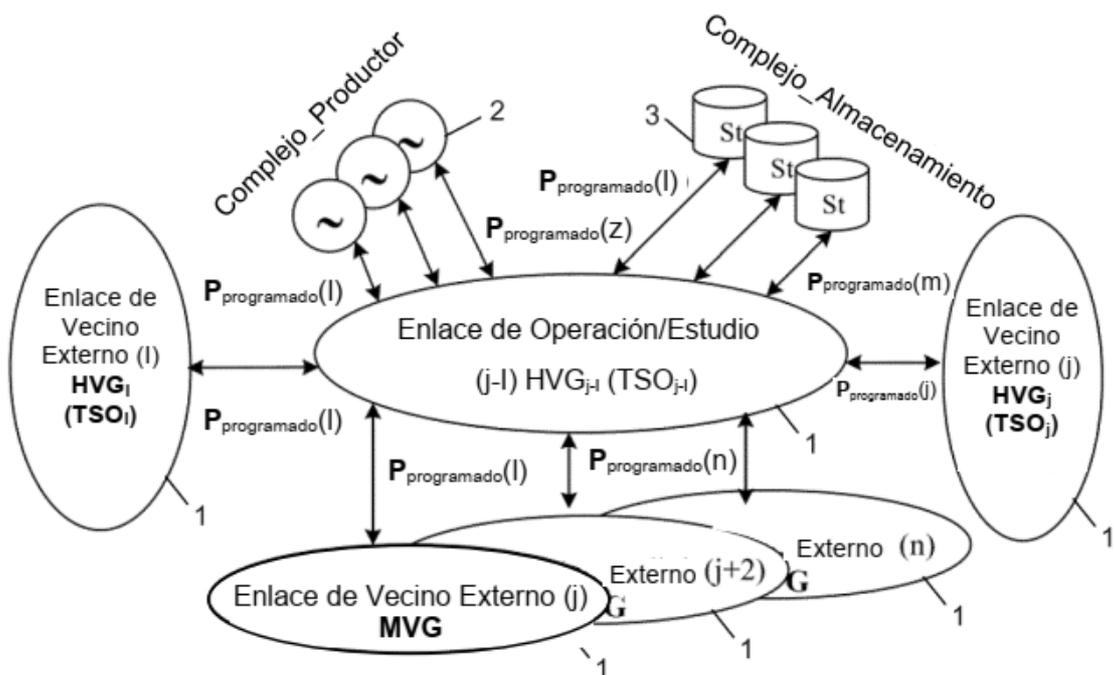


Figura 4b

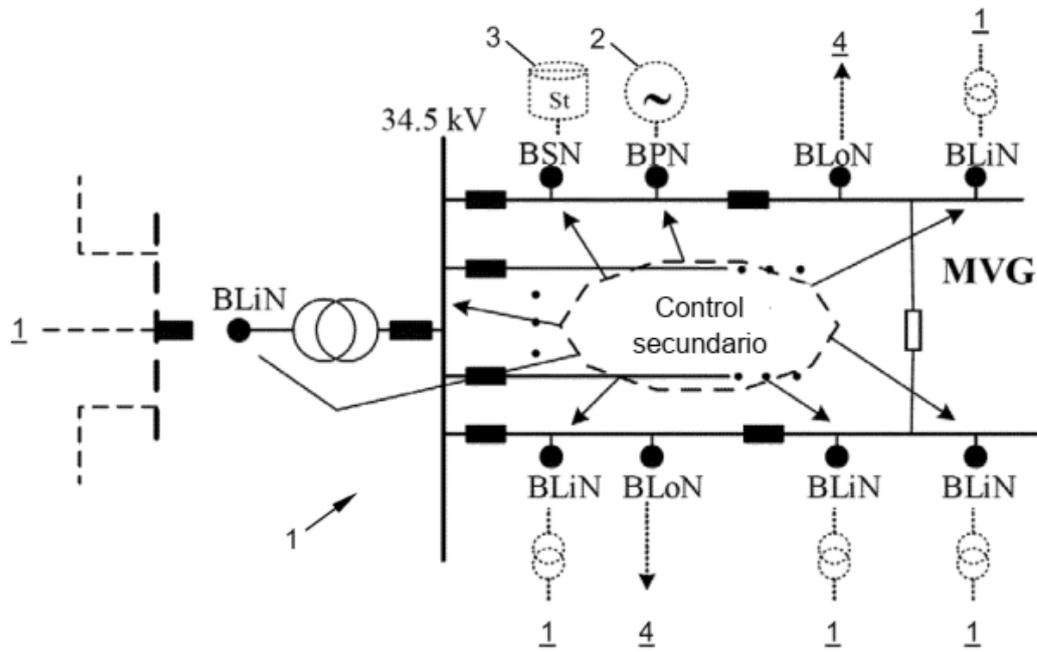


Figura 5a

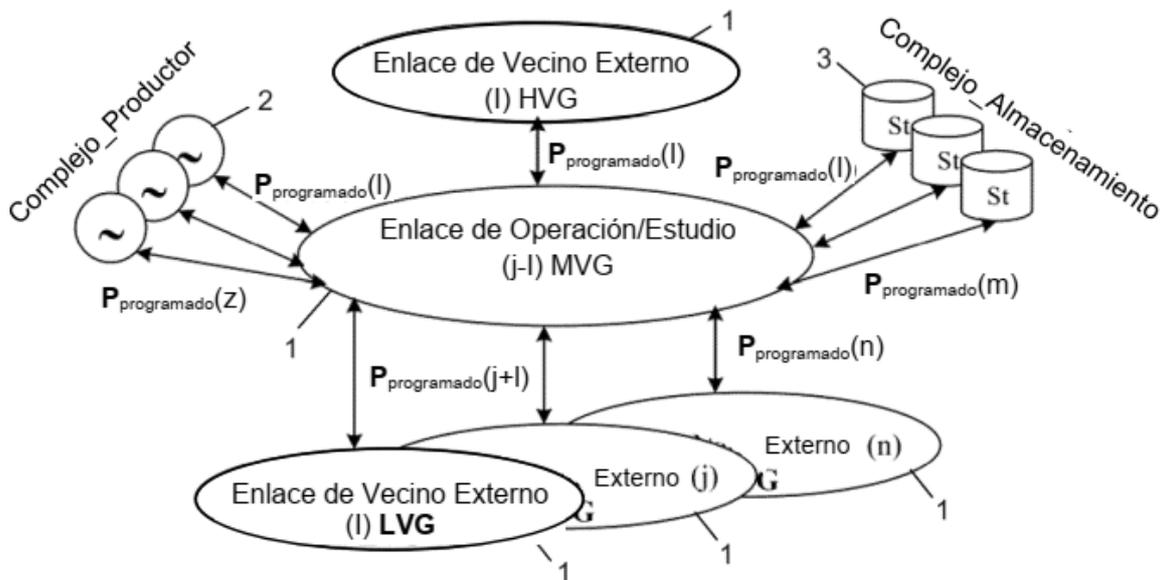


Figura 5b

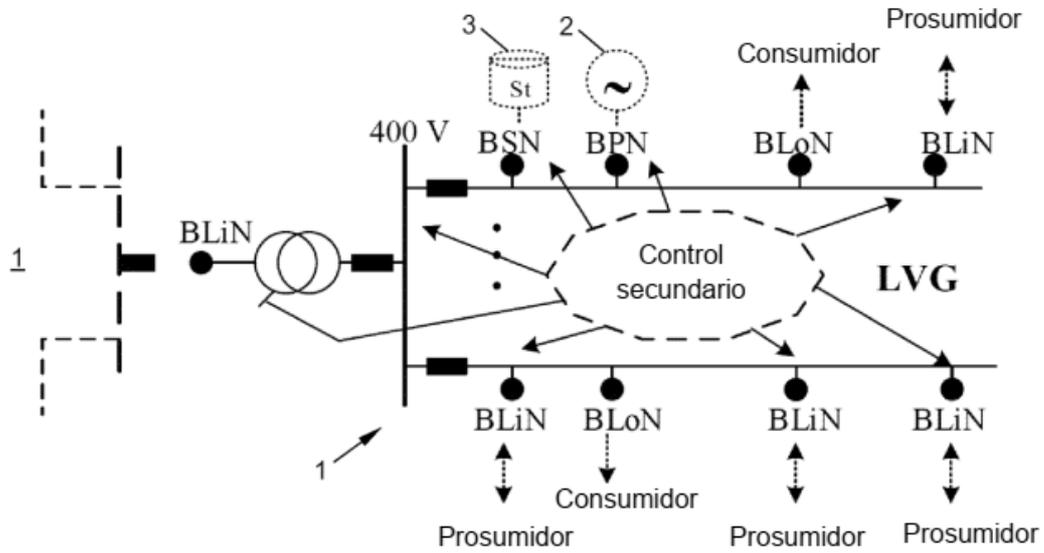


Figura 6a

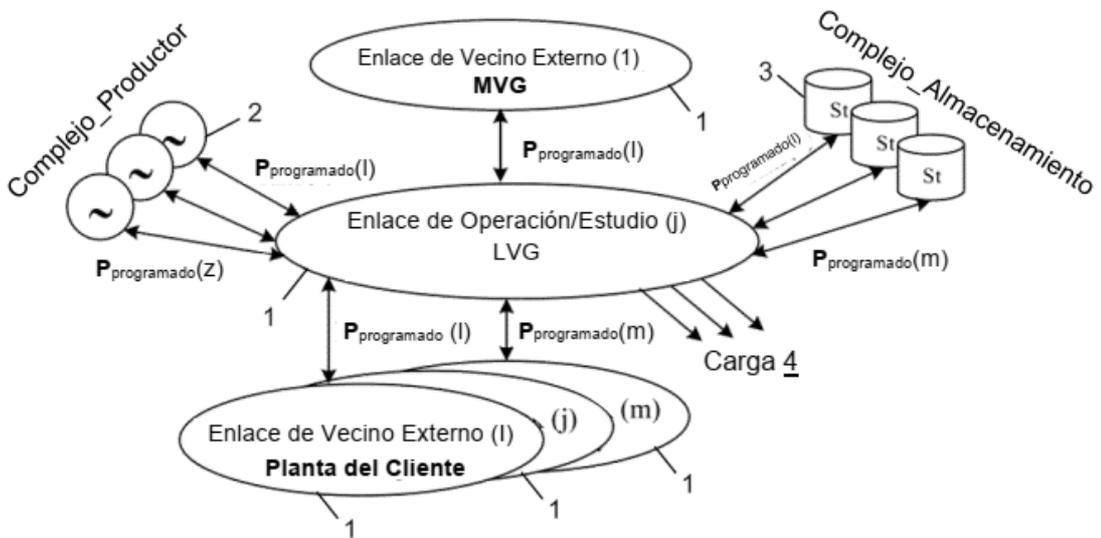


Figura 6b

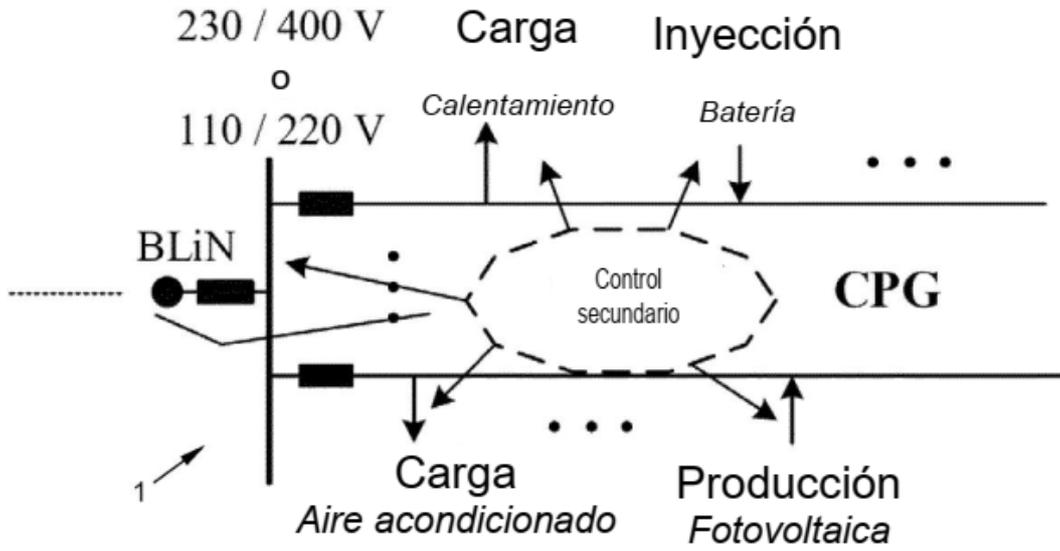


Figura 7a

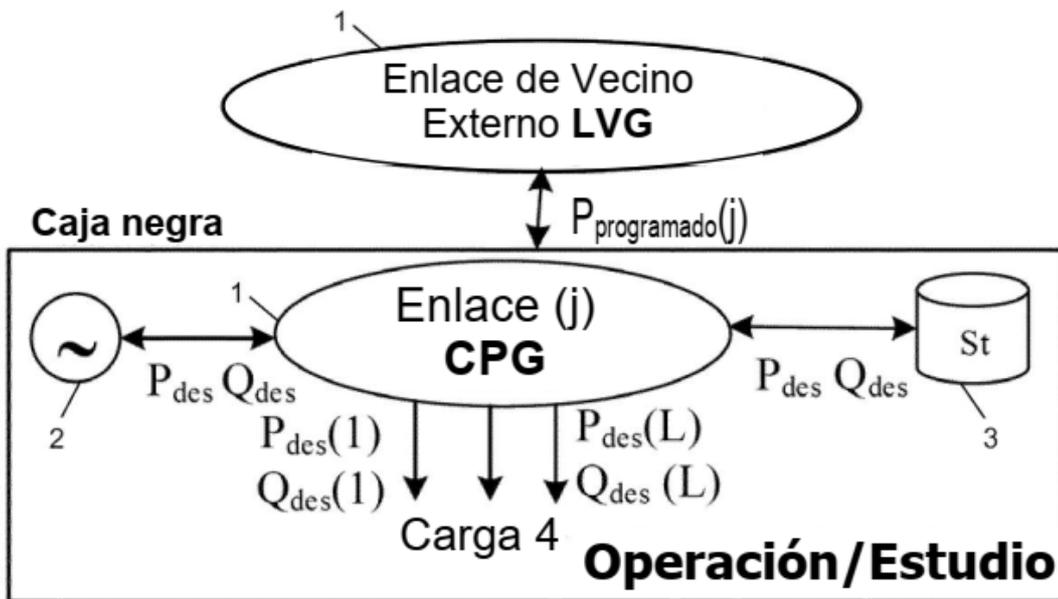


Figura 7b

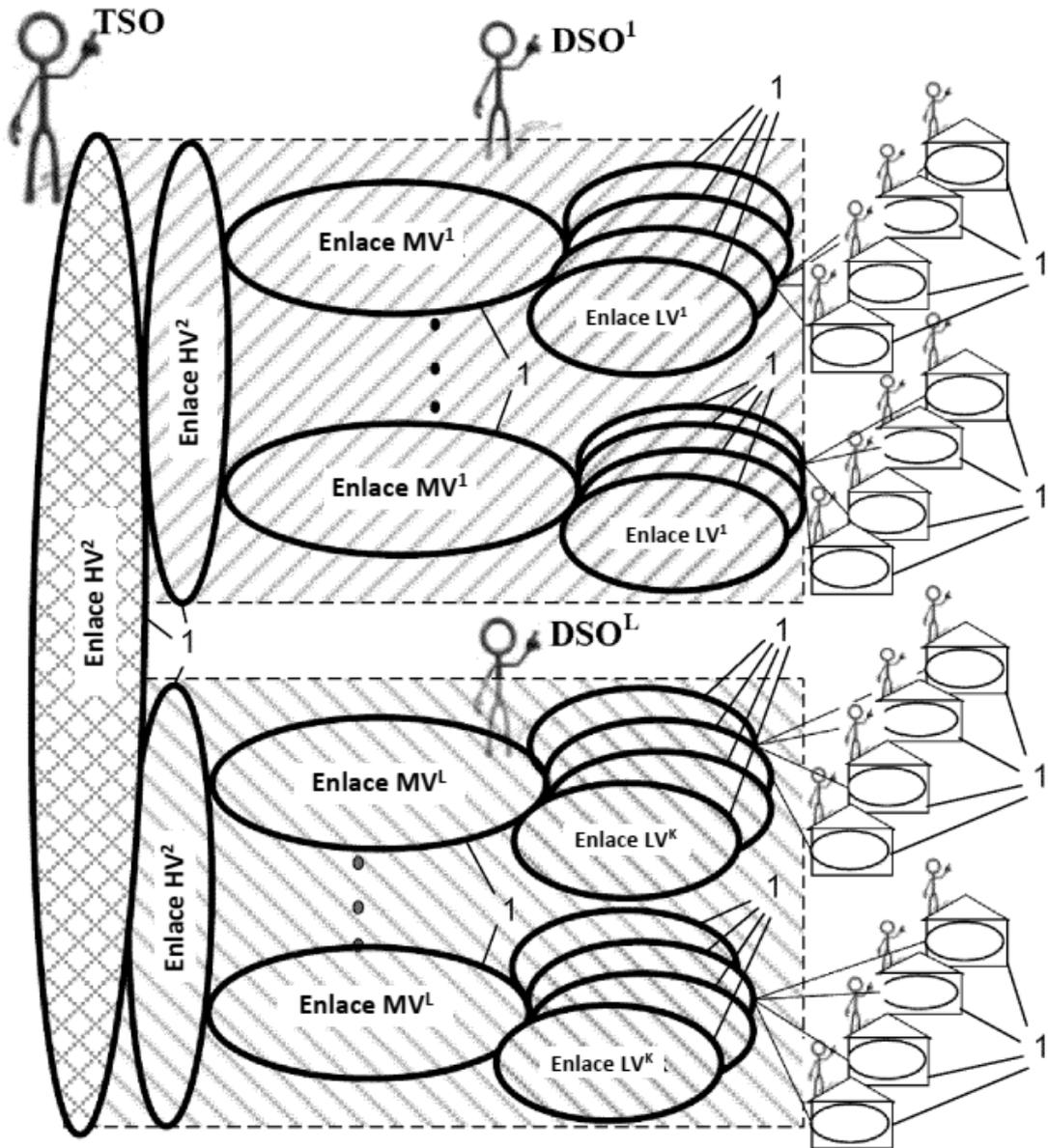


Figura 8a

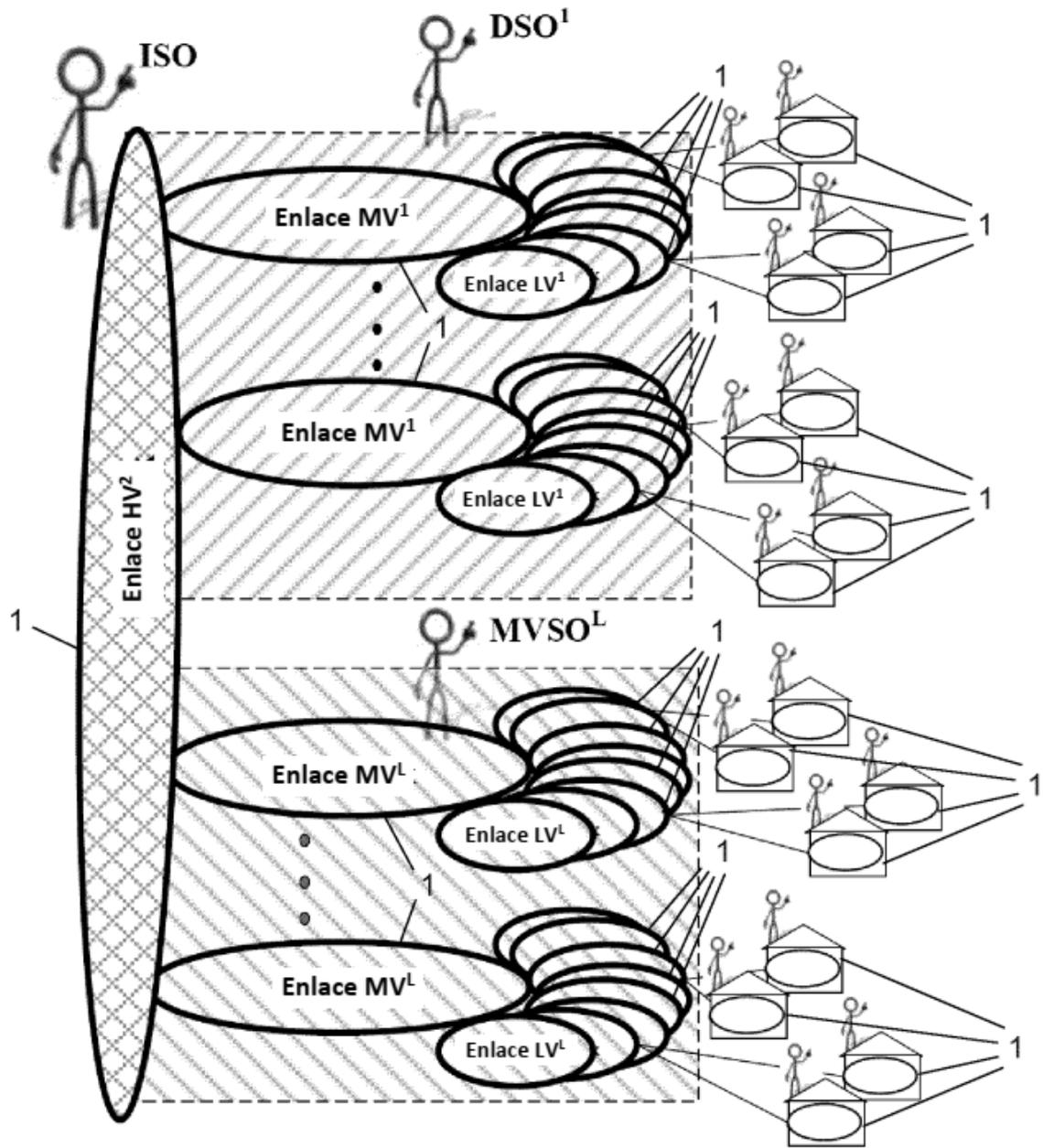


Figura 8b

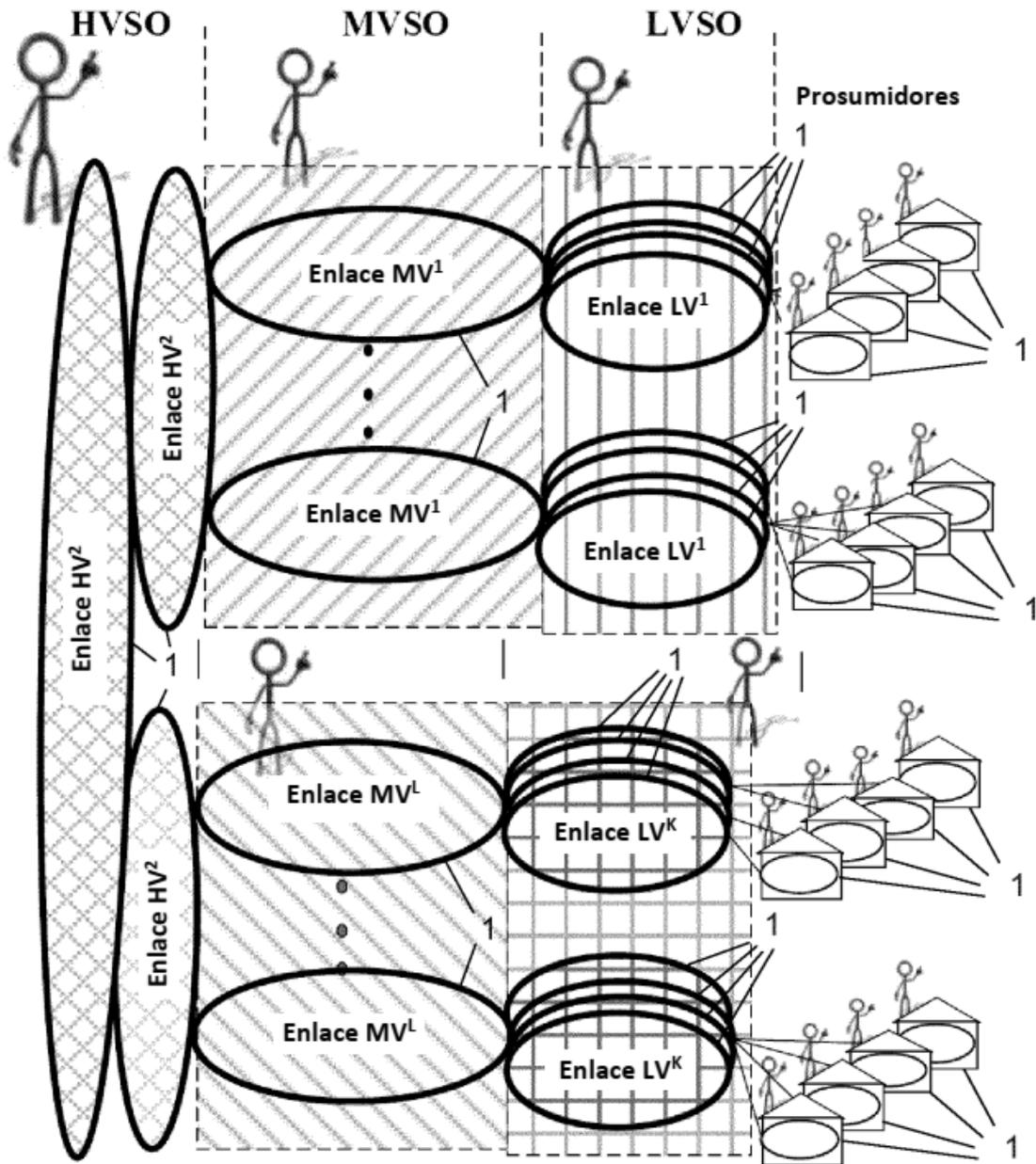


Figura 8c

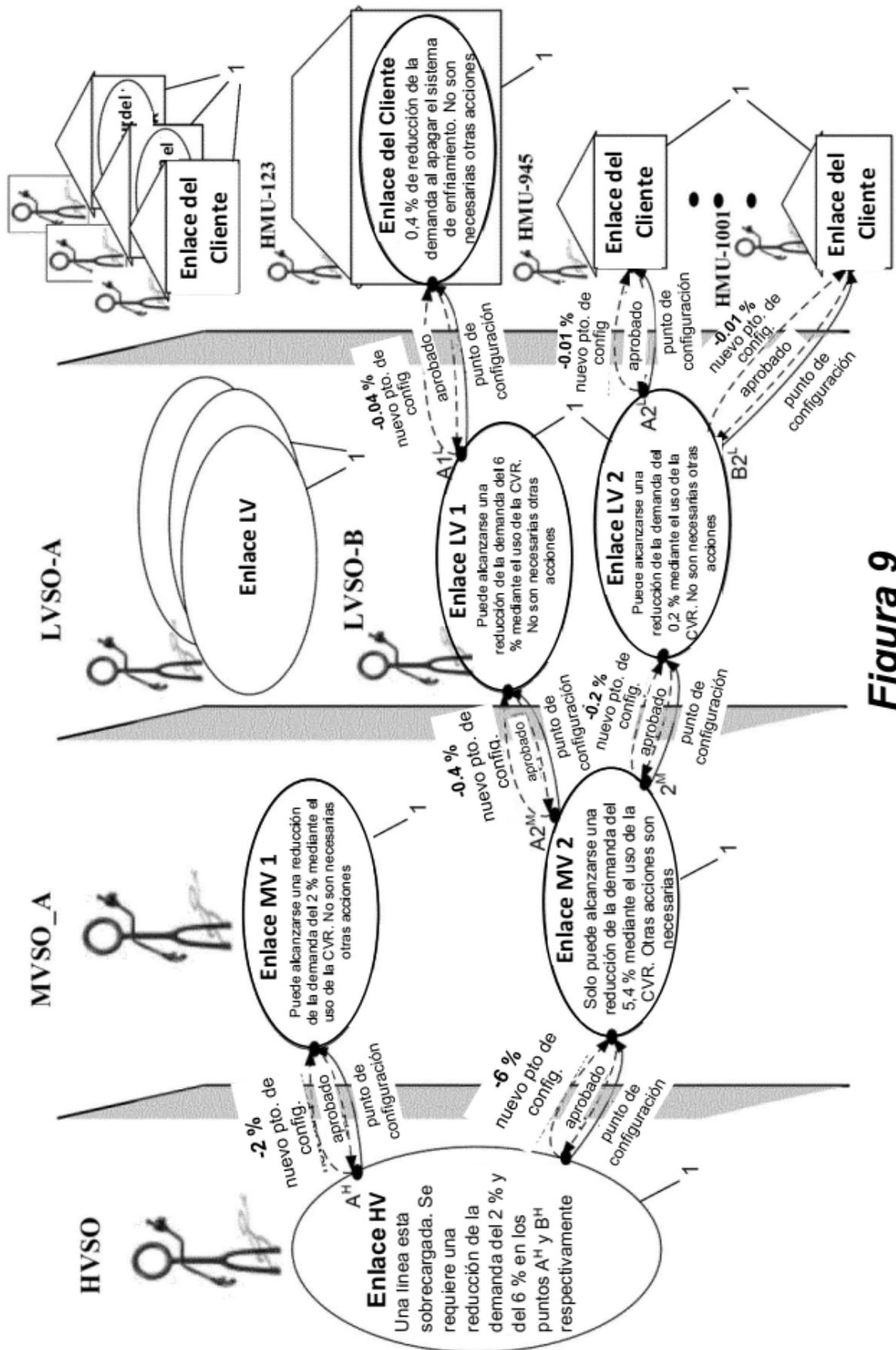


Figura 9

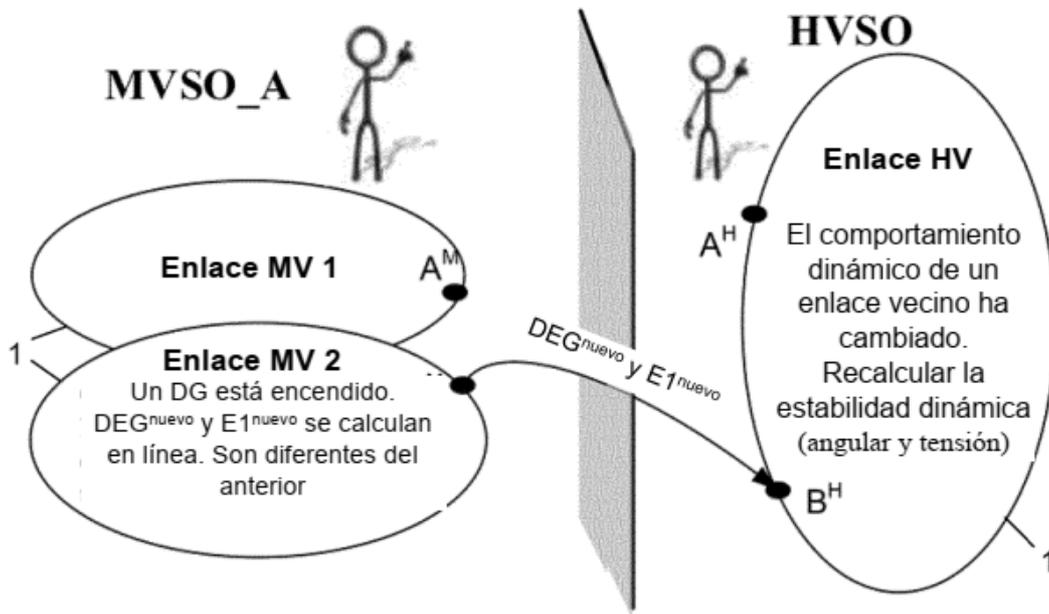


Figura 10a

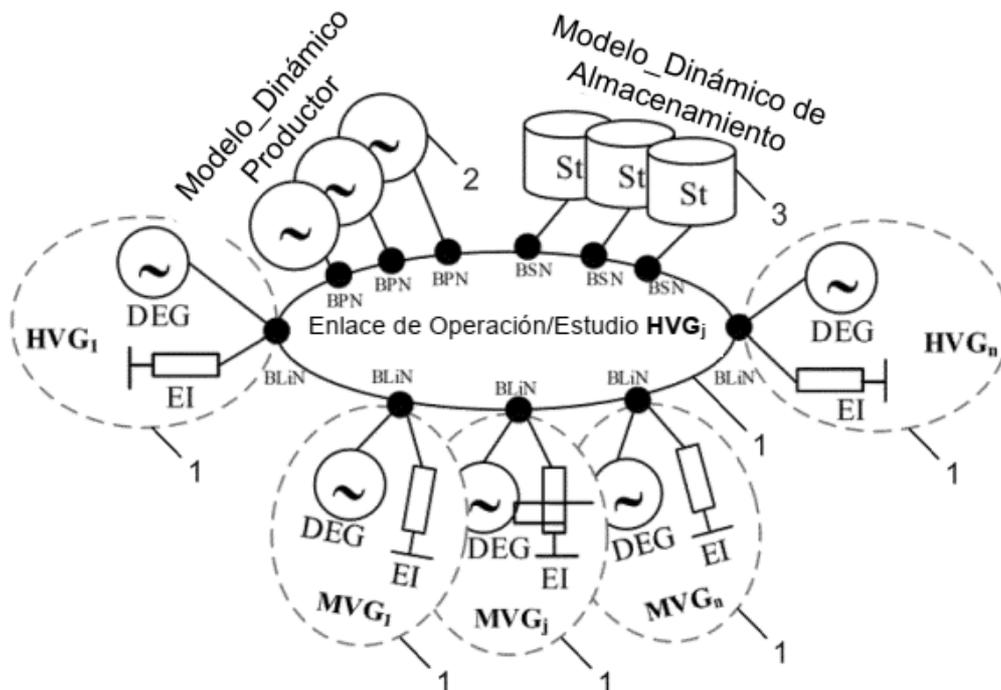


Figura 10b

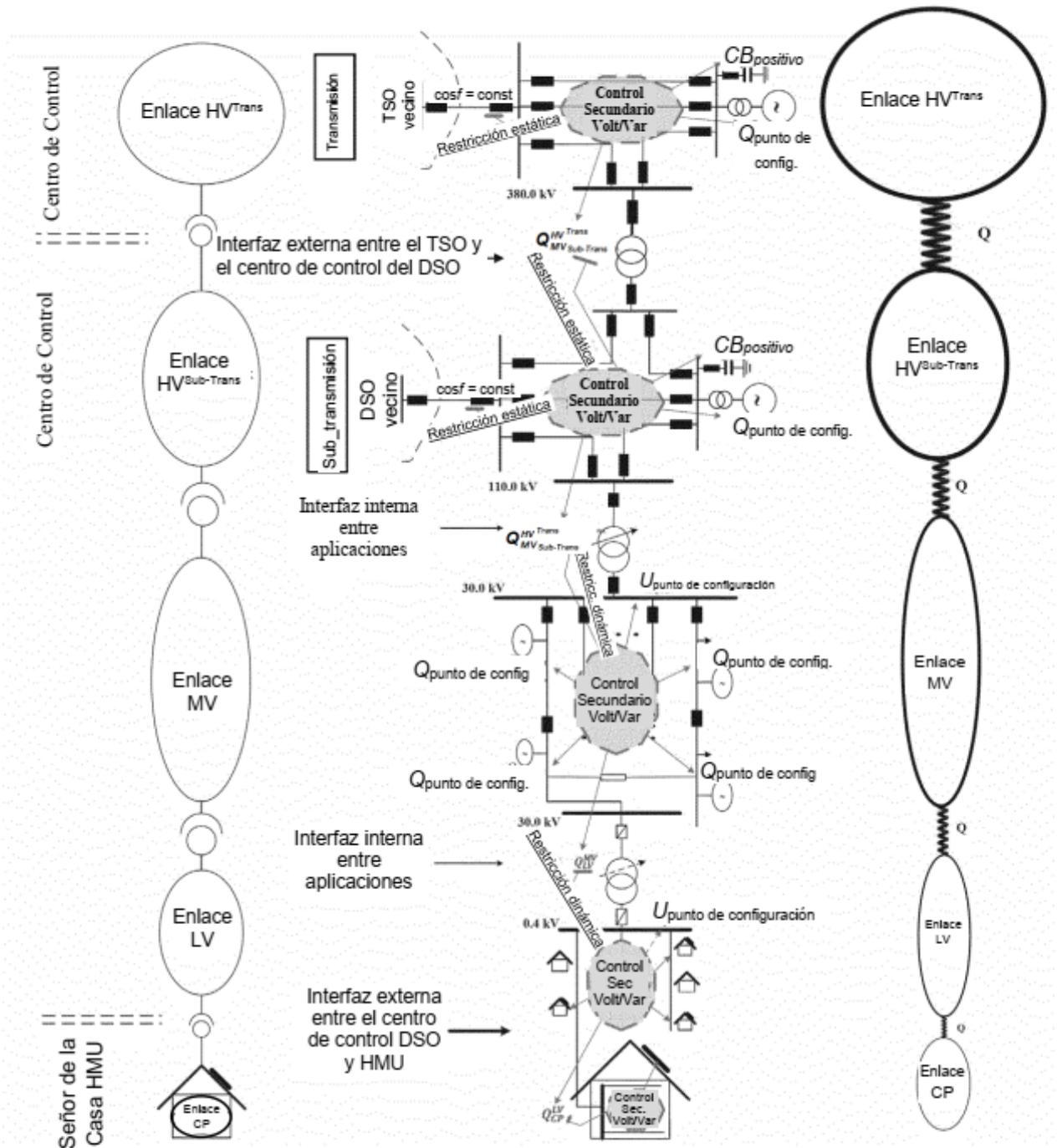


Figura 11a

Figura 11b

Figura 11c

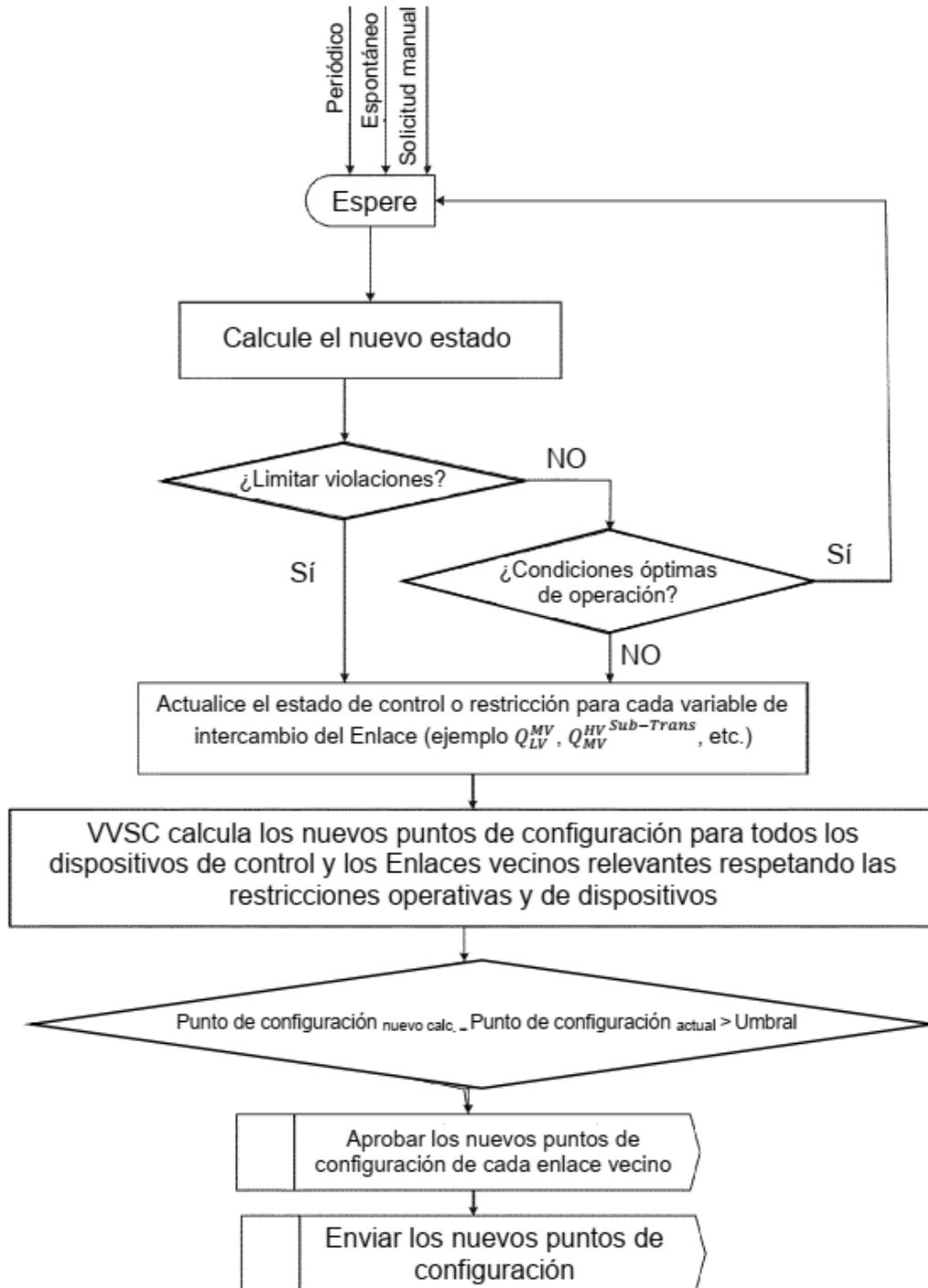


Figura 12

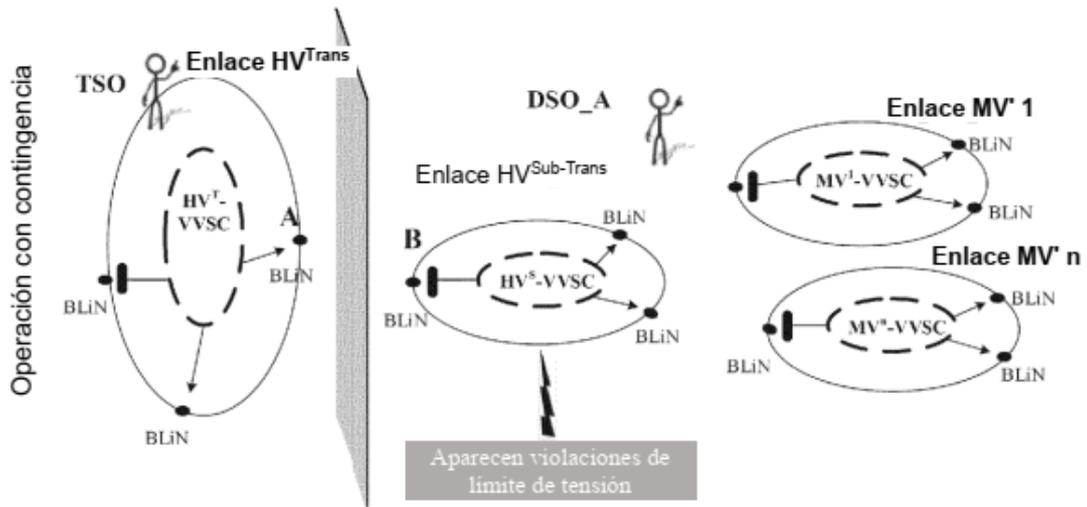


Figura 13a

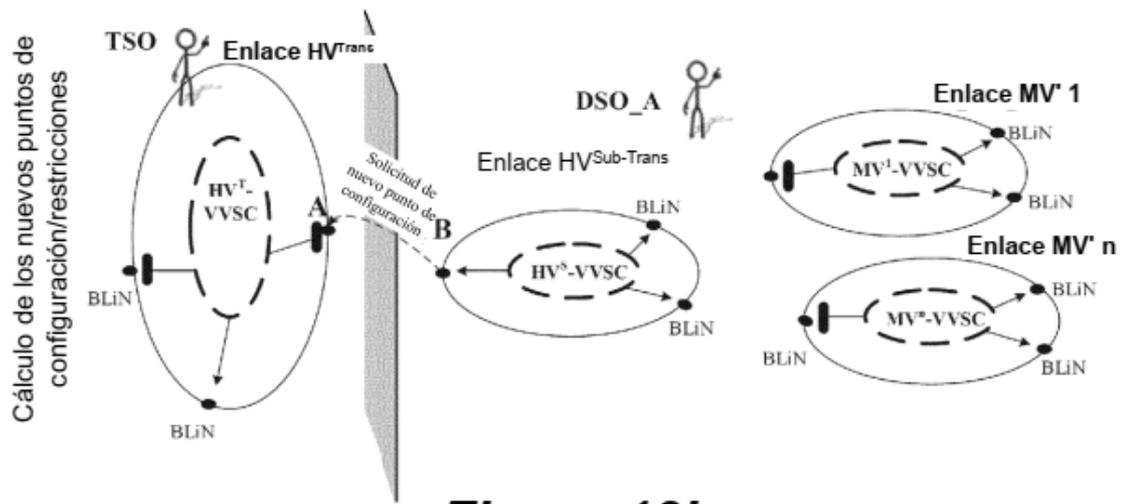


Figura 13b

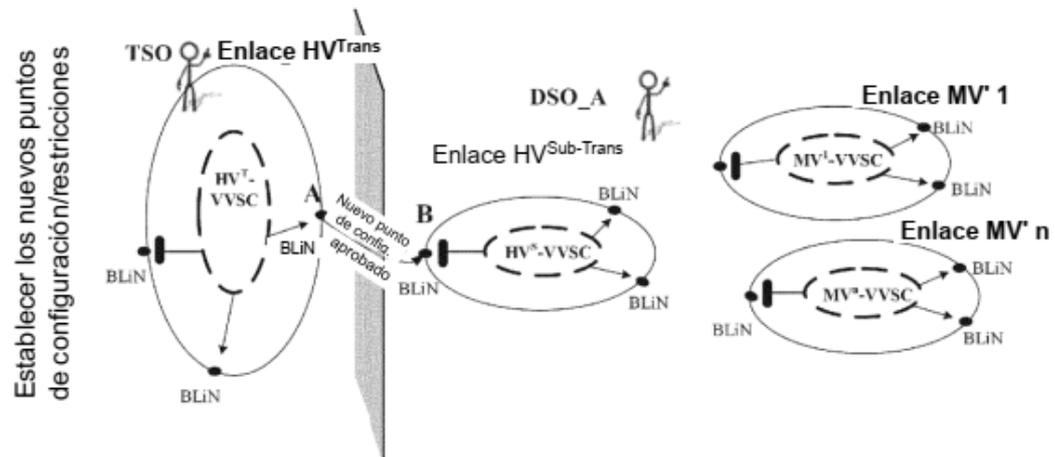


Figura 13c