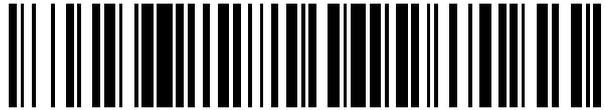


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 714 430**

21 Número de solicitud: 201731363

51 Int. Cl.:

H04L 12/28 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

28.11.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.05.2019

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Pabellon de Brasil - Pº de las Delicias, s/n
41013 Sevilla ES**

72 Inventor/es:

**ESTEPA ALONSO, Rafael;
ESTEPA ALONSO, Antonio y
MADINABEITIA LUQUE, German**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **MÉTODO PARA OBTENER UNA TOPOLOGÍA FÍSICA DE INTERCONEXIÓN DE UNA RED DE DATOS CABLEADA**

57 Resumen:

Método para la interconexión de una red de datos cableada.

La presente invención describe un método para obtener una topología física óptima de interconexión de una red de datos cableada (1) que comprende una pluralidad de nodos (20, 21, 22, 23), canalizaciones (3), enlaces (4) y conexiones de puenteo (5).

Concretamente, el método permite obtener una topológica física más óptima en cuanto a la longitud acumulada de canalizaciones (3) ponderada por el tiempo previsto de desconexión con el nodo raíz (20) que la representación directa de la topología lógica.

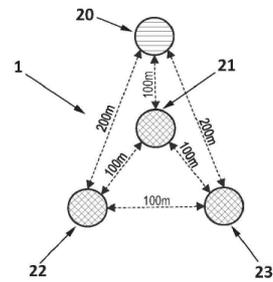


FIG. 2

**MÉTODO PARA OBTENER UNA TOPOLOGÍA FÍSICA DE INTERCONEXIÓN DE UNA
RED DE DATOS CABLEADA**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se engloba en el sector de las tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) y en particular en el sub-sector de la ingeniería de redes.

10

Concretamente, el objeto de la presente invención es un método para obtener la topología física más óptima de interconexión de una red de datos cableada. Más concretamente, la optimización del diseño de redes de datos cableadas, tal como redes de área local (LAN) centralizadas, incluyendo sus aspectos físicos, es decir, canalizaciones para interconectar los nodos de la red de datos, así como la selección y conexión de unos enlaces que se introducen por dichas canalizaciones a través de unos cables.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Actualmente, se conoce que una red de datos cableada puede ser representada como topologías lógicas, o grafos, que muestran las interconexiones ideales de la red de datos cableada y como topologías físicas que comprenden todos los elementos de la red de datos cableada tal y como están instalados físicamente.

25

A modo de ejemplo, se muestra en la figura 1a, una representación de los elementos físicos que componen las redes de datos cableadas, siendo estos elementos: unos nodos (200), unas canalizaciones (400) que se desarrollan entre los nodos (200), unos cables (300) introducidos por las canalizaciones (400) y en donde los cables (300) comprenden los enlaces (500) que terminan en un panel de interconexión (600) disponible en la ubicación de cada nodo (200).

30

Las conexiones realizadas en el panel de interconexión (600) pueden unir un enlace (500) con un nodo (200), o bien dos enlaces (500) entre sí. En este último caso, se le denominan conexiones de puenteo (700) o bypass. De este modo estas interconexiones forman la red de datos cableada donde los enlaces (500) transportan información entre los nodos (200).

35

Estos elementos instalados en la red de datos cableada pueden ser representados en un esquema de la topología física, similar al de la figura 1b, en donde se muestran los nodos (200) incluyendo en ellos los paneles de interconexión, no representados, las canalizaciones (400) que pueden incluir los cables, no representados, con enlaces (500) y conexiones de puenteo (700).

Adicionalmente, dicho esquema de la topología física se puede representar, de forma ideal, mediante su grafo que está compuesto sólo por los nodos (200) y los enlaces (500), tal y como se representa en la figura 1c.

Habitualmente, el diseño de las redes de datos cableadas suele ser realizado por empresas de consultoría de servicios, empresas instaladoras de infraestructuras de telecomunicación, o bien por operadoras de redes de telecomunicación, a fin de diseñar una red privada corporativa para una organización, que será quien opere y utilice dicha red de datos cableada.

Actualmente, en la planificación de una red de datos cableada es importante diseñar la mejor forma de interconectar los nodos de la red de datos cableada. Este diseño es la topología lógica y se ajusta idealmente a las necesidades de la organización que usará la red de datos cableada.

Algunos de los requerimientos más comunes impuestos por las organizaciones sobre el diseño de su red de datos cableada son: (a) la tolerancia a fallos, es decir la capacidad de seguir operando ante fallos de los elementos de la red de datos cableada, (b) la localización de los equipos de los usuarios que se conectan a la red de datos cableada, o la localización de los nodos de la red de datos cableada, (c) la capacidad de transferencia de datos en la red de datos cableada con un retardo acotado, (d) el número y/o coste de los elementos que componen la red de datos cableada, incluyendo por ejemplo el número de enlaces o el número de nodos de la red de datos cableada.

Evidentemente, cada organización priorizará sus necesidades en el diseño. Una organización que priorice exclusivamente el coste, estará interesada en utilizar el menor número de elementos para unir los nodos de la red de datos cableada, otro cliente que valore la tolerancia a fallos podría estar interesado en añadir enlaces o canalizaciones redundantes para cubrir la posibilidad de fallo de los nodos o de los enlaces. Por ello, las empresas que realizan los diseños suelen realizarlos de forma heurística basándose en su

propia experiencia, las prioridades del cliente y los condicionantes del entorno, por ejemplo, propiedades del terreno o edificio, licencias de obra civil, etc...

5 Debido a los diferentes intereses y prioridades de cada organización, tampoco existe una única metodología formal para el diseño de redes de datos cableadas. Es posible encontrar numerosos métodos de diseño, tanto patentados como propuestos en la literatura científica, en los que se plantean estos diseños como problemas de optimización con diversos condicionantes.

10 Por ejemplo, Leonard Kleinrock et al. en "On the topological design of distributed computer networks." IEEE Transactions on communications 25.1 (1977): 48-60 identifican problemas tipo clásicos tratados en la literatura científica para redes de datos cableada distribuidas de grandes operadores de telecomunicación.

15 En otro ejemplo descrito por Gavish et al. en "Topological design of centralized computer networks—formulations and algorithms." Networks 12.4 (1982): 355-377 se muestran los problemas de diseño típicos de redes de datos cableadas centralizadas, por ejemplo, redes con un nodo raíz más importante que el resto, típico en redes de área local (LAN), donde la mayoría los usuarios acceden a los servicios ofrecidos en el Centro de Proceso de Datos o
20 Internet a través de un nodo principal en la red.

Concretamente, para el diseño de redes LAN centralizadas algunos de los problemas tipo más comunes son:

25 a) Problema del diseño de red de datos cableada con el menor número de elementos. Consiste en unir todos los nodos con el menor número de enlaces posible y cuyo coste sea el menor posible. Suele ser la norma dentro de un edificio y en redes de área local pequeñas. Este diseño no es tolerante a fallos, ya que si falla un nodo o un enlace parte de la red quedaría inconexa.

30 b) Problema del diseño de red fiable (o Reliable Network Design por sus siglas en inglés). Este problema busca encontrar la topología física con menor número de elementos que garantice resistencia ante fallos -hasta un cierto grado- en base a la introducción de enlaces redundantes. Los trabajos encontrados utilizan diferentes variantes del concepto fiabilidad. Un ejemplo de método que resuelve
35 este problema para una red distribuida de un operador está descrito en la solicitud de patente US20020036988A1.

c) Problema del diseño de red de datos cableada sujeto a una capacidad de transferencia garantizada. El objetivo del diseño es conseguir que la red de datos cableada sea capaz de transferir un caudal mínimo garantizado a través de sus enlaces con el menor número de elementos. Un ejemplo relacionado con la solución a dicho problema está descrito en el documento US5598532A.

d) Problema del diseño de red de datos cableada sujeto a restricciones múltiples. Son problemas de mayor complejidad que incluyen numerosas restricciones combinadas en cuanto a fiabilidad, capacidad, coste, retardo, etc... y que incluyen restricciones y soluciones de diseño que abarcan no sólo la topología lógica sino la configuración de algunos elementos de comunicación de la red de datos cableada tal como protocolos.

Todas estas propuestas mencionadas anteriormente pueden ser implementadas con software, obteniendo así un sistema que ofrece una solución al problema en cuestión. Las técnicas algorítmicas usadas en la resolución de los problemas son muy diversas y han evolucionado para ser usadas en redes de datos cableadas cada vez mayores dado que la complejidad computacional de los cálculos crece de forma geométrica con el número de nodos de la red.

Todos los métodos conocidos y descritos anteriormente tienen en común la utilización de grafos (conjunto de nodos unidos por enlaces) como representación ideal de la topología física de la red de datos cableada y como solución final del diseño. Esto es así porque el uso de grafos facilita el tratamiento analítico y/o computacional del problema.

Sin embargo, es el instalador de la red de datos cableada el que debe implementar la topología física de la red de datos cableada. Esta instalación tendrá un número de elementos con un coste económico que incluyen la obra civil a realizar (canalizaciones en el interior de edificios o en exteriores), los cables a introducir por dichas canalizaciones (tipo de material y número de enlaces -pares de cobre o fibras- en el cable) o el conexionado de los enlaces de cada cable en cada nodo.

De este modo, el problema actual es que existe una diferencia entre la topología lógica representada por los grafos y la topología física que necesita un instalador de la red de datos cableada. De este modo los grafos no determinan totalmente la red de datos cableada.

finalmente implementada. Esto ocurre porque no hay una relación unívoca entre la topología física y la topología lógica.

5 A modo de ejemplo, un mismo grafo que representa 3 nodos interconectados en malla puede ser instalado con dos topologías físicas diferentes: tres canalizaciones que lleven un cable de un solo enlace, o dos canalizaciones que lleven cables de 2 enlaces y la realización de una conexión de puenteo o bypass entre los cables de ambas canalizaciones.

10 De este modo, la solución encontrada en los procedimientos de diseño (topología lógica) puede no ser óptima respecto al número de elementos de la instalación ya que éste depende de la topología física.

15 De este modo, actualmente no existe ningún método que ofrezca soluciones a problemas genéricos de diseño topológico físico, aunque sí es posible encontrar software para la asistencia en algunos aspectos del diseño lógico que no solucionan los problemas anteriormente descritos.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

20 La presente invención es un método para obtener una topología física de interconexión de una red de datos cableada, en donde la red de datos cableada comprende:

- una pluralidad de nodos, en donde uno de estos nodos es un nodo raíz que comprende unos servicios accesibles por unos usuarios,
- una pluralidad de canalizaciones que vinculan los nodos entre sí, y
- 25 • al menos un enlace por cada canalización que conecta directa (conexión entre enlace y nodo) o indirectamente (conexión de puenteo) dos nodos entre sí.

Más concretamente, el método comprende:

- introducir unos parámetros de configuración para la red de datos cableada,
- 30 • simular unas topologías lógicas, o grafos, que sean conexos, es decir que ningún nodo esté desconectado del resto, y en donde los grafos cumplan con los parámetros de configuración de la red de datos cableada,
- simular unas topologías físicas que representen los grafos generados mediante diferentes combinaciones de conexiones de puenteo, enlaces, y canalizaciones,
- 35 • seleccionar la topología física de interconexión de la red de datos cableada que comprende un menor valor de metros de canalizaciones ponderados por una

estimación del tiempo de desconexión de la red de datos cableada a lo largo de la vida útil esperable de la red de datos cableada debido a fallos en nodos o enlaces de la red de datos cableada.

5 Más concretamente, los parámetros de configuración de la red de datos cableada comprenden:

- el número de nodos que conforman la pluralidad de nodos,
- la identificación del nodo raíz,
- la distancia entre nodos, calculada como la distancia desde un nodo hasta el
10 resto de nodos, incluido el nodo raíz,
- un coeficiente de criticidad de cada nodo, excepto el nodo raíz, que refleja la importancia de dicho nodo para la productividad de la organización,
- un número máximo de nodos que pueden fallar de forma simultánea (NF),
- un número máximo de enlaces que pueden fallar de forma simultánea (LF),
15 • una probabilidad de que se rompa una canalización por unidad de longitud y unidad de tiempo,
- una probabilidad de que un nodo falle por unidad de tiempo,
- el tiempo de vida útil que se espera de la red de datos cableada, y
- un coeficiente de ponderación de la importancia de los fallos en la red de datos
20 cableada frente a la cantidad de materiales utilizados para construirla.

Preferentemente, para simular las topologías físicas se establecen las siguientes condiciones:

- el nodo raíz siempre está disponible, y
- si se rompe una canalización se rompen todos sus enlaces.
25

Preferentemente, para simular las topologías físicas se establecen las siguientes restricciones:

- en la interconexión directa entre cualesquiera dos nodos no habrá más de una
30 conexión de puenteo,
- en el nodo raíz no se instalan conexiones de puenteo, y
- cada canalización alberga un cable con enlaces para realizar las conexiones entre nodos.

Más concretamente, estas conexiones entre nodos pueden ser de enlace con nodo (conexión directa), o bien de enlace con enlace (conexión de puenteo).

Más concretamente, la simulación comprende las siguientes subetapas:

- 5 a. generar una pluralidad de grafos que representan todas las posibilidades según los parámetros de configuración,
- b. generar para cada grafo una pluralidad de topologías físicas ideales, en donde cada topología física está implementada por una combinación única de canalizaciones y conexiones de puenteo en cada nodo,
- 10 c. calcular para cada topología física ideal sus metros de canalización,
- d. calcular para cada topología física ideal, el tiempo previsto de desconexión con el nodo raíz a lo largo del tiempo de vida útil prevista para la red de datos cableada, debido a la posibilidad de fallo simultánea e independiente de las canalizaciones y de los nodos que la componen, y
- 15 e. seleccionar como resultado del diseño aquella topología física ideal que presente un menor valor de la suma ponderada de los valores obtenidos en las subetapas c y d.

De este modo se obtiene un método que considerará la topología física y no exclusivamente la topología lógica que resuelve el reto técnico de encontrar la topología física (canalizaciones, cables, enlaces, conexiones de puenteo) que minimiza principalmente la suma ponderada del número de metros de canalizaciones necesarias y el tiempo esperado de indisponibilidad de los servicios de la red de datos cableada debido a fallos. Esto permite que la red de datos cableada encontrada sea óptima respecto a los materiales que la componen y su fiabilidad y que al instalador le llegue el diseño que necesita mediante una instalación más definida.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35 Figura 1a.- Muestra una representación del estado de la técnica de los elementos típicos que componen la red de datos cableada es de datos cableadas.

Figura 1b.- Muestra una representación del estado de la técnica de un esquema de la topología física que representa los elementos de interconexión de la figura 1a.

5 Figura 1c.- Muestra una representación del estado de la técnica de una topología lógica, o grafo, que es una representación ideal de la topología física de la figura 1b.

Figura 2.- Muestra un esquema de nodos, de una realización preferente de la invención, que incluye información básica tal como distancias y número de nodos.

10 Figuras 3a – 3d.- Muestra diferentes simulaciones de grafo resultantes de la simulación de la subetapa a).

15 Figuras 4a – 4d.- Muestra diferentes simulaciones de topologías físicas ideales del grafo de la figura 3a, resultantes de la simulación de la subetapa b) para obtener la topología física óptima.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20 Una realización preferente de esta invención es un método para obtener una topología física óptima de interconexión de una red de datos cableada (1) a partir de un esquema de nodos, utilizado a modo de ejemplo y representado en la figura 2. Este esquema de nodos está formado por un primer nodo (21), un segundo nodo (22) un tercer nodo (23) y un nodo raíz (20), y se muestran parámetros de configuración de la red de datos cableada (1) tal como
25 las distancias entre los nodos (20, 21, 22, 23).

El resultado final del diseño será una topología física que interconecte los nodos (20, 21, 22, 23) del esquema de nodos de la figura 2, tal y como se muestra en las figuras 4a a 4d, que comprende:

- 30 • una pluralidad de nodos (20, 21, 22, 23) con sus respectivos paneles de interconexión,
- una pluralidad de canalizaciones (3) que vinculan los nodos (20, 21, 22, 23) entre sí, y
- al menos un enlace (4) por cada canalización (3) que conecta dos nodos (20, 21, 35 22, 23) entre sí.

Preferentemente, partiendo del esquema de nodos (20, 21, 22, 23) de la figura 2, el método genera una pluralidad de topologías lógicas, o grafos, en donde algunos de estos están representados en la figura 3.

5 A modo de ejemplo y para explicar la invención, se selecciona el grafo representado por la figura 3a y que podría ser considerado como topología de mallado total. Para esta topología lógica, este método permite simular múltiples topologías físicas usando diferentes combinaciones de canalizaciones (3) y conexiones de puenteo (5) en cada nodo (20, 21, 22, 23). Unos ejemplos de estas posibles topologías físicas se muestran en las figuras 4a-4d.

10 En esta realización preferente, y a modo de ejemplo, seleccionamos dos de estas topologías físicas de la figura 4, la topología de la figura 4a, es decir de representación directa del grafo seleccionado y considera como primera simulación física, y la topología física de la figura 4b considera como la segunda simulación física con tres conexiones de puenteo (5) en el primer nodo (21). Como se demostrará a continuación, aunque ambas representan la misma topología lógica, la segunda simulación física es más óptima con respecto a la primera simulación física.

15 Concretamente, este método para obtener la topología física óptima comprende las siguientes etapas:

- 20 • introducir unos parámetros de configuración acordes con el esquema de la figura 2, en donde estos parámetros de configuración de la red de datos cableada (1) comprenden:
 - 25 ○ el número total de nodos (20, 21, 22, 23),
 - la identificación del nodo raíz (20),
 - la identificación de los nodos (21, 22, 23) como primer, segundo, tercer nodo respectivamente
 - la distancia entre los todos nodos (20, 21, 22, 23),
 - un número máximo de nodos (21, 22, 23) excluyendo al nodo raíz (20) que podrían fallar de forma simultánea, siendo este igual a $NF=2$,
 - 30 ○ un número máximo de canalizaciones (3) que podrían fallar de forma simultánea, siendo este igual a $LF=2$,
 - la probabilidad de que se rompa cada canalización (3) por metro de canalización (3) y unidad de tiempo, siendo esta igual a 10^{-6} ,
 - 35 ○ la probabilidad de que falle un nodo (21, 22, 23) por unidad de tiempo siendo esta igual a 10^{-3} ,

- el tiempo de vida útil esperado de la red de datos cableada (1), siendo este igual a 10 años,
 - un coeficiente de criticidad de cada nodo (21, 22, 23) excepto el nodo raíz (20), siendo este igual a 0,5, 0,2 y 0,3 para el primer, segundo y tercer nodo respectivamente, y
 - un coeficiente de ponderación de la importancia del tiempo de desconexión de la red de datos cableada (1) frente a la cantidad de materiales utilizados para construirla siendo este igual a 0,8.
- establecer las siguientes condiciones de simulación:
 - el nodo raíz (20) siempre está disponible, y
 - si se rompe una canalización (3), se rompen todos sus enlaces (4).
- establecer las siguientes restricciones de simulación:
 - en la interconexión directa entre cualesquiera dos nodos (21, 22, 23) no habrá más de una conexión de puenteo,
 - en el nodo raíz (20) no se instalan conexiones de puenteo (5), y
 - cada canalización (3) alberga un cable con varios enlaces (4), suficientes para realizar las conexiones de puenteo (5) que se deseen.
- simular unos grafos de la red de datos cableada (1) que cumplan con los parámetros de configuración de la red de datos cableada (1),
- simular unas topologías físicas para cada uno de los grafos simulados en el paso anterior,
- calcular los metros de canalización (3) empleados en cada topología física generada,
- calcular para cada topología física generada el tiempo estimado de desconexión con el nodo raíz (20) a lo largo de la vida útil de la red de datos cableada (1), dada una probabilidad de fallo simultánea e independiente de los elementos que componen la red de datos cableada (1), y
- seleccionar la topología física de interconexión de la red de datos cableada (1) que comprende un menor valor de la suma ponderada del tiempo estimado de desconexión de la red de datos cableada (1) con el nodo raíz (20) a lo largo de su vida útil, y los metros de canalizaciones (3) empleados.

Preferentemente, la simulación de los grafos requiere la generación de una pluralidad de grafos conexos que cumplan la condición de que ningún nodo (21, 22, 23) esté desconectado del resto.

La generación de estos grafos conexos puede hacerse de forma manual para redes de datos cableadas (1) con pocos nodos (20, 21, 22, 23), o con ayuda computacional (i.e. de forma algorítmica) para redes de datos cableadas (1) con muchos nodos (20, 21, 22, 23) por ejemplo más de 10.

5

Más concretamente, la simulación de las topologías físicas que representan a un grafo requiere generar una pluralidad de esquemas de topología física usando canalizaciones (3), enlaces (4) y conexiones de puenteo (5) que representan al grafo. A la única simulación que no incluye conexiones de puenteo (5) se le denomina “representación directa del grafo”. El resto de simulaciones siempre incluye una combinación única de conexiones de puenteo (5) en los diversos nodos (21, 22, 23).

10

La generación de estas topologías físicas puede hacerse de forma manual para grafos con pocos nodos (20, 21, 22, 23), o con ayuda computacional (i.e. de forma algorítmica) para grafos con muchos nodos (20, 21, 22, 23), por ejemplo más de 10.

15

En la figura 4 se muestran algunas simulaciones de topologías físicas generadas manualmente que representan el grafo de la figura 3a.

20

Para cada topología física generada, se calculan los metros de canalización (3) empleados, y para ello simplemente se suman las distancias entre nodos (20, 21, 22, 23) unidos por canalizaciones (3). Por el ejemplo, el cálculo de metros de canalización (3) empleados en las topologías físicas 1 (directa) y 2 de la figura 4 (figuras 4a y 4b respectivamente), sería 800 (200m x 2 canalizaciones + 100m x 4 canalizaciones) y 300 (100m x3 canalizaciones) respectivamente a tenor de las canalizaciones (3) y las distancias entre nodos (20, 21, 22, 23) de cada una de estas dos topologías físicas.

25

Preferentemente, para el cálculo del tiempo estimado de desconexión con el nodo raíz (20) a lo largo de la vida útil de la red de datos cableada (1) de una topología física se realizan los siguientes pasos:

30

- para cada nodo (21, 22, 23) (excepto el nodo raíz (20)), calcular la probabilidad (por unidad de tiempo) de que quede desconectado del nodo raíz (20) teniendo en cuenta los parámetros de configuración de la red de datos cableada (1), y
- multiplicar las probabilidades obtenidas en paso anterior, por el tiempo de vida útil esperado de la red de datos cableada (1) y el coeficiente de criticidad de cada nodo (21, 22, 23),

35

- sumar los valores obtenidos en el paso anterior. A este valor se le define como el tiempo esperado de desconexión de la red de datos cableada (1) corregido por la criticidad de cada nodo (21, 22, 23).

5 Para el cálculo de la posibilidad de que un nodo (21, 22, 23) cualquiera (denominado i) quede desconectado del nodo raíz (20) se utiliza la siguiente ecuación $\Gamma_i(G)$, considerando que existe un límite sobre el número de nodos (N_F) y enlaces (L_F) que pueden fallar simultáneamente según los parámetros de configuración (ese valor es 2 en nuestro ejemplo). Dicha ecuación $\Gamma_i(G)$ está descrita por:

10

$$\Gamma_i(G) = \sum_{l=1}^{L_F} p_i^{(l)} \delta_l + \sum_{n=1}^{N_F} q_i^{(n)} \gamma_n - \sum_{l=1}^{L_F} \sum_{n=1}^{N_F} p_i^{(l)} q_i^{(n)} \delta_l \gamma_n$$

15 Donde $p_i^{(l)}$ es la probabilidad de desconexión de un nodo i condicionada a que fallan l canalizaciones (3) simultáneamente; δ_l es la probabilidad de que ocurra esto último (por ejemplo, δ_2 representa la probabilidad de que dos canalizaciones (3) de la topología física fallen simultáneamente); $q_i^{(n)}$ es la probabilidad de desconexión de un nodo i de la red de datos cableada (1) condicionada a que fallan n nodos(21, 22, 23) simultáneamente. Finalmente, γ_n es la probabilidad de que ocurra esto último (por ejemplo, γ_2 representa la probabilidad de que dos nodos fallen simultáneamente). Estos cuatro factores se calculan de
20 la siguiente forma:

- δ_l – se calcula en base a la exposición al riesgo de las canalizaciones (3). El factor de exposición de cada canalización (3) será su longitud (en metros) multiplicada por la probabilidad de que se rompa una canalización (3) por unidad de longitud (que es un dato de configuración de entrada al procedimiento). Por lo tanto, para su cálculo hay que realizar el cálculo probabilístico correspondiente. Por ejemplo, en la segunda simulación física de la figura 4b, la probabilidad de que falle una canalización (3) y sólo una es la suma de las probabilidades de que falle cada una de las canalizaciones (3) y no fallen las demás. En este caso, el valor δ_1 sería: $3 \times 10^{-4} (1 - 10^{-4}) (1 - 10^{-4}) \cong 3 \times 10^{-4}$, mientras que el valor de δ_2 sería: $3 \times 10^{-4} \times 10^{-4} (1 - 10^{-4}) \cong 3 \times 10^{-8}$. En el caso de la primera simulación física de la figura 4 (representación directa), el valor de δ_1 sería: 8×10^{-4} , mientras que el valor de δ_2 sería: $2,6 \times 10^{-7}$.

30

- γ_n – cada nodo (21, 22, 23) tiene un valor de probabilidad de fallo que forma parte de los datos de configuración de entrada al procedimiento. En nuestros parámetros de entrada este valor es igual para todos los nodos y es 0,001 (por hora). Por lo tanto, para estimar γ_n (probabilidad de que fallen n nodos simultáneamente) hay que realizar un cálculo probabilístico similar al caso anterior (que falle sólo uno, que fallen sólo 2 simultáneamente, etc..). En nuestro caso γ_1 resulta $2,99 \times 10^{-3}$ ($\cong 3 \times 10^{-3}$), y γ_2 resulta $2,99 \times 10^{-6}$ ($\cong 3 \times 10^{-6}$) para ambas topologías físicas 1 y 2. Como todas las topologías físicas están compuestas por los mismos nodos (21, 22, 23), todas tendrán igual valor de este factor.

- $p_i^{(l)}$ –El método de cálculo de este factor consiste en generar, para una topología física determinada, todas las variantes posibles que resultarían de eliminar en dicha topología física una canalización (3), dos canalizaciones (3), etc... hasta LF canalizaciones (3) simultáneas. Para cada variante se comprueba si existe conectividad desde el nodo i con el nodo raíz (20) o no. El valor resultante (número de veces en que no hay conectividad por la probabilidad de que ocurra el fallo que produciría tal variación) es el valor $p_i^{(l)}$. Por ejemplo, para la segunda simulación física de la figura 4, conocido que ha fallado sólo una canalización (3) (esto es, $l=1$), ésta podría ser cualquiera de las tres existentes con la misma probabilidad. Si consideramos la conectividad del primer nodo (21) (i.e. $i = 1$), entonces sólo la ruptura de la canalización (3) que une el primer nodo (21) dejaría al primer nodo (21) desconectado del nodo raíz (20). Por ello, la probabilidad de que el primer nodo (21) quede desconectado del nodo raíz (20), dado que se ha roto una canalización (3) sería $p_1^{(1)}=1/3$. Procediendo igualmente para el segundo y el tercer nodo (22, 23) obtendríamos unos valores de $p_2^{(1)}=2/3$ y $p_3^{(1)}=2/3$. Para el caso de que se hayan roto dos canalizaciones (3) simultáneamente, y procediendo de la misma forma, las probabilidades de desconexión de los nodos (21, 22, 23) serían $p_1^{(2)}=2/3$, $p_2^{(2)}=1$. y $p_3^{(2)}=1$ respectivamente. Si examinamos ahora la primera simulación física de la figura 4, vemos que, debido a que cada nodo (21, 22, 23) tiene tres canalizaciones (3), siempre estará unido al nodo raíz (20) a pesar de que fallen una o incluso dos canalizaciones (3). Por lo tanto $p_1^{(1)}= p_2^{(1)}= p_3^{(1)}= p_1^{(2)}= p_2^{(2)}= p_3^{(2)}=0$ para la primera simulación física.

- $q_i^{(n)}$ –se calcula mediante un método similar al anterior, es decir mediante la prueba de resistencia ante todas las posibles combinaciones de fallo de un nodo (21), dos nodos (21, 22), etc... hasta NF nodos (21, 22, 23) simultáneos. Se considera que las

5 conexiones de puenteo (5) de la topología física posibilitan que exista interconexión entre nodos (21, 22, 23) adyacentes, aunque el nodo (21) intermedio falle. Por ello, en la segunda simulación física, y ante el fallo de un solo nodo (21), tendríamos una probabilidad de desconexión del cualquier nodo (21, 22, 23) de $q_1^{(1)} = q_2^{(1)} = q_3^{(1)} = 1/3$. Ante el fallo simultáneo de dos nodos (21, 22), entonces tendríamos $q_1^{(2)} = q_2^{(2)} = q_3^{(2)} = 2/3$. Para la primera simulación física, tendríamos los mismos valores que para la segunda simulación física.

10 Con las explicaciones anteriores, los cálculos de la ecuación $\Gamma_i(G)$ para las dos topologías físicas consideradas en el ejemplo quedarían finalmente como sigue:

- Para G=primera simulación física:

$\Gamma_1(G)=1 \times 10^{-3}$, $\Gamma_2(G)=1 \times 10^{-3}$, $\Gamma_3(G)=1 \times 10^{-3}$ para el primer, segundo y tercer nodo (21, 22, 23) respectivamente.

- Para G=segunda simulación física:

15 $\Gamma_1(G)=1,10 \times 10^{-3}$, $\Gamma_2(G)=1,20 \times 10^{-3}$, $\Gamma_3(G)=1,20 \times 10^{-3}$ para el primer, segundo y tercer nodo (21, 22, 23) respectivamente.

20 Una vez obtenidos los valores anteriores, se multiplican por el tiempo de vida esperado de la red de datos cableada (1) (parámetros de configuración, con valor 10 años: 87 600 h) y el coeficiente de criticidad de cada nodo (21, 22, 23) (parámetros de configuración, con valor 0,5, 0,2, y 0,3 para el primer, segundo y tercer nodo (21, 22, 23) respectivamente). A continuación, se suman estos valores. Entonces tendríamos que el tiempo esperado de desconexión de la red de datos cableada (1) corregido por el coeficiente de criticidad sería:

- para la primera simulación física: $87\ 600 \times (0,5 \times 1 \times 10^{-3} + 0,2 \times 1 \times 10^{-3} + 0,2 \times 1 \times 10^{-3}) = 87,6h$.
- para la segunda simulación física: $87\ 600 \times (0,5 \times 1,1 \times 10^{-3} + 0,2 \times 1,2 \times 10^{-3} + 0,2 \times 1,2 \times 10^{-3}) = 100,7h$.

30 Como se puede apreciar, la primera simulación física tiene un menor tiempo esperado de desconexión a lo largo de su vida útil que la otra topología física considerada. Sin embargo, también es cierto que la primera simulación física tiene 800m de canalizaciones (3) mientras que la segunda simulación física tiene sólo 300m.

35 Preferentemente, para la selección de la topología física óptima se selecciona aquella que tenga una menor suma ponderada entre el valor calculado anteriormente y los metros de canalización (3) empleados en la topología. El coeficiente de ponderación es un parámetro

de configuración (con valor 0,8 en nuestro ejemplo). En tal caso tendríamos que la figura de mérito final de cada topología física considerada en este ejemplo sería:

- Primera simulación física (representación directa): $0.8 \times 87,6 + 0.2 \times 800 = \mathbf{230,08}$
- 5 • Segunda simulación física: $0.8 \times 100,7 + 0.2 \times 300 = \mathbf{140,59}$

Por lo tanto, la topología física seleccionada, que resuelve el problema de diseño de la red de datos cableada (1) incluyendo sus aspectos físicos sería la segunda simulación física frente a la otra alternativa evaluada. Destacar que esta comparación es únicamente a modo de ejemplo y preferentemente se realizaría una comparativa entre todas las topologías físicas generadas.

10

REIVINDICACIONES

1- Método para obtener una topología física de interconexión de una red de datos cableada (1) que comprende:

- 5
- una pluralidad de nodos (20, 21, 22, 23), en donde uno es un nodo raíz (20) que comprende unos servicios accesibles por unos usuarios,
 - una pluralidad de canalizaciones (3) que vinculan los nodos (20, 21, 22, 23) entre sí, y
 - al menos un enlace (4) por cada canalización (3) que conecta dos nodos (20, 21, 10 22, 23) entre sí,

en donde el método está caracterizado por que comprende:

- introducir unos parámetros de configuración para la red de datos cableada (1),
- simular unos grafos que representan grafos conexos de la red de datos cableada (1), en donde los grafos cumplen con los parámetros de configuración de la red 15 de datos cableada (1),
- simular unas topologías físicas de la red de datos cableada (1) que representen los grafos generados mediante diferentes combinaciones de conexiones de puenteo (5), enlaces (4) y canalizaciones (3),
- seleccionar la topología física de interconexión de la red de datos cableada (1) 20 que comprende un menor valor de metros de canalizaciones (3) ponderados por una estimación del tiempo de desconexión de la red de datos cableada (1) a lo largo de la vida útil esperable de la red de datos cableada (1) debido a fallos en nodos (21, 22, 23) o canalizaciones (3) de la red de datos cableada (1).

25 2- Método según la reivindicación 1, caracterizado por que los parámetros de configuración para la topología lógica comprenden:

- el número total de nodos (20, 21, 22, 23) y la identificación de los mismos,
- la identificación del nodo raíz (20),
- la distancia entre los nodos (20, 21, 22, 23),
- un coeficiente de criticidad de cada nodo (21, 22, 23), excepto el nodo raíz (20), 30 que refleja la importancia de dicho nodo (21, 22, 23) para la productividad de la organización,
- un número máximo de nodos (21, 22, 23) excluyendo al nodo raíz (20) que podrían fallar de forma simultánea (NF),

- un número máximo de canalizaciones (3) de la topología física que podrían fallar de forma simultánea (LF),
 - la probabilidad, por metro de canalización (3) y unidad de tiempo, de que se rompa una canalización (3),
 - 5 • la probabilidad, por unidad de tiempo, de que falle un nodo (21, 22, 23),
 - el tiempo de vida útil esperado de la red de datos cableada (1),
 - un coeficiente de criticidad de cada nodo (21, 22, 23), y
 - un coeficiente de ponderación de la importancia del tiempo de desconexión de la red de datos cableada (1) frente a la cantidad de materiales utilizados para
 - 10 construirla
- 3- Método según la reivindicación 2, caracterizado por que para simular las topologías físicas se establecen las siguientes condiciones:
- el nodo raíz (20) siempre está disponible, y
 - 15 • si se rompe una canalización (3) se rompen todos sus enlaces (4).
- 4- Método según la reivindicación 3, caracterizado por que para simular las topologías físicas se establecen las siguientes restricciones:
- en la interconexión directa entre cualesquiera dos nodos (21, 22, 23) no habrá
 - 20 más de una conexión de puenteo (5),
 - en el nodo raíz (20) no se instalan conexiones de puenteo (5), y
 - cada canalización (3) alberga un cable con enlaces (4) para realizar las conexiones entre nodos (21, 22, 23).
- 5- Método según la reivindicación 4, caracterizado por que la simulación comprende las siguientes subetapas:
- a. generar una pluralidad de grafos que representan todas las posibles topologías lógicas según los parámetros de configuración,
 - b. generar para cada topología lógica una pluralidad de topologías físicas
 - 30 ideales, en donde cada topología física está implementada por una combinación única de canalizaciones (3) y conexiones de puenteo (5) en cada nodo (21, 22, 23),
 - c. calcular para cada topología física ideal sus metros de canalización (3),
 - d. calcular para cada topología física ideal, el tiempo previsto de desconexión
 - 35 con el nodo raíz (20) a lo largo del tiempo de vida útil prevista para la red de datos cableada (1), debido a la posibilidad de fallo simultánea e

independiente de las canalizaciones (3) y de los nodos (21, 22, 23) que la componen, y

- e. seleccionar como resultado del diseño aquella topología física ideal que presente un menor valor de la suma ponderada de los valores obtenidos en las subetapas c y d.

5

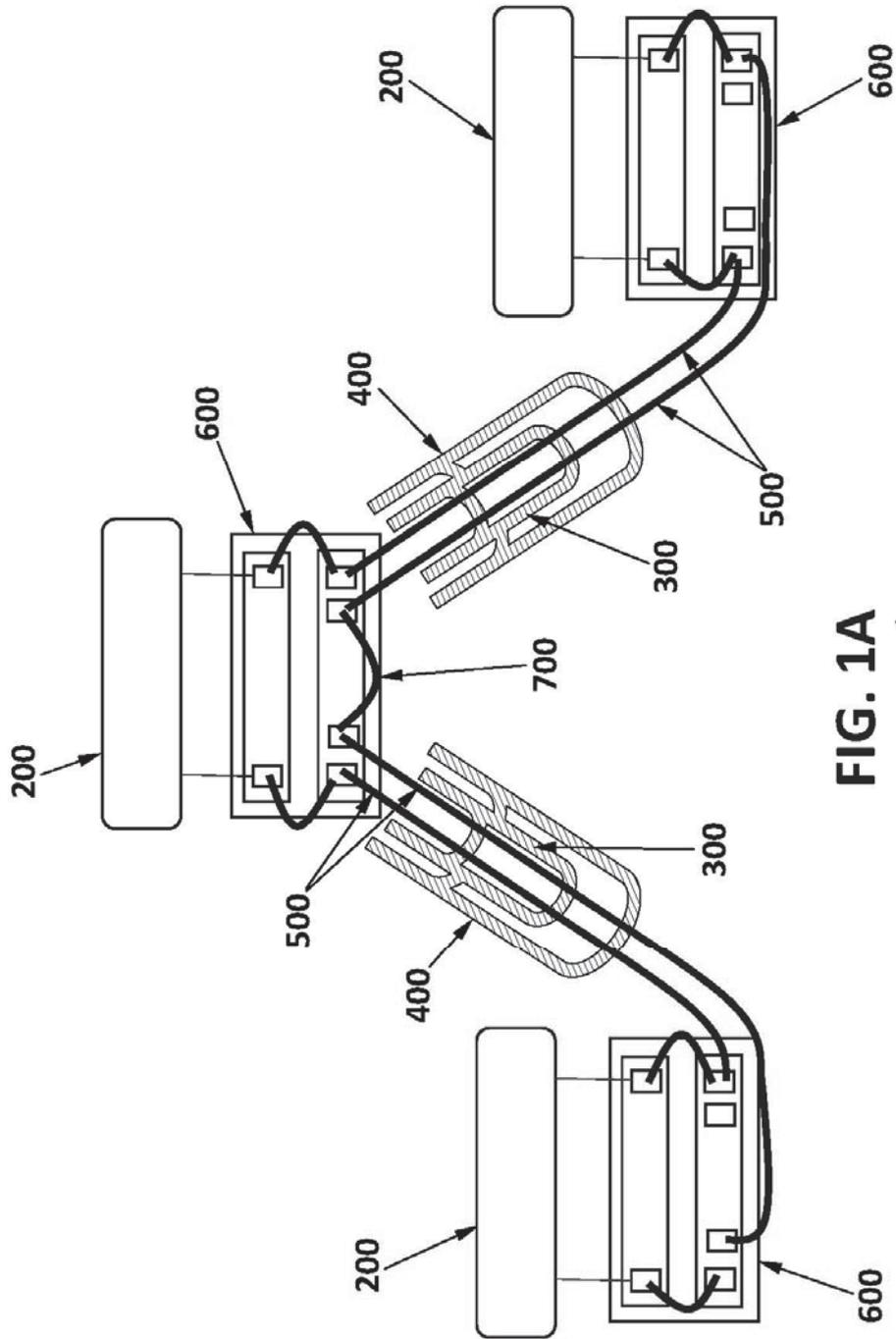


FIG. 1A
ESTADO DE LA TÉCNICA

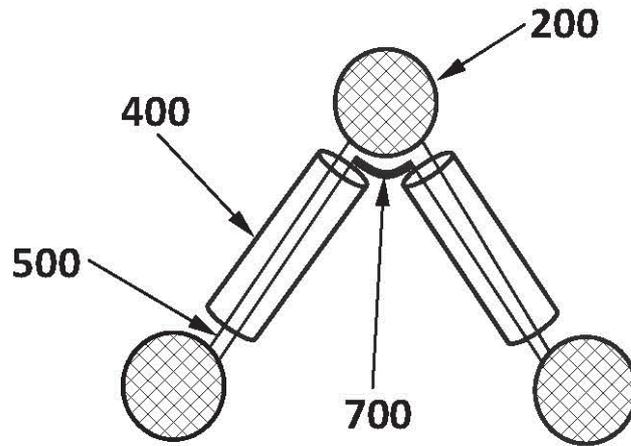


FIG. 1B

ESTADO DE LA TÉCNICA

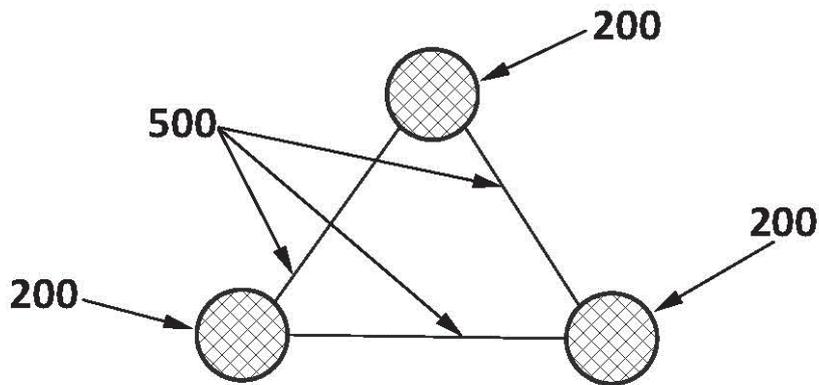


FIG. 1C

ESTADO DE LA TÉCNICA

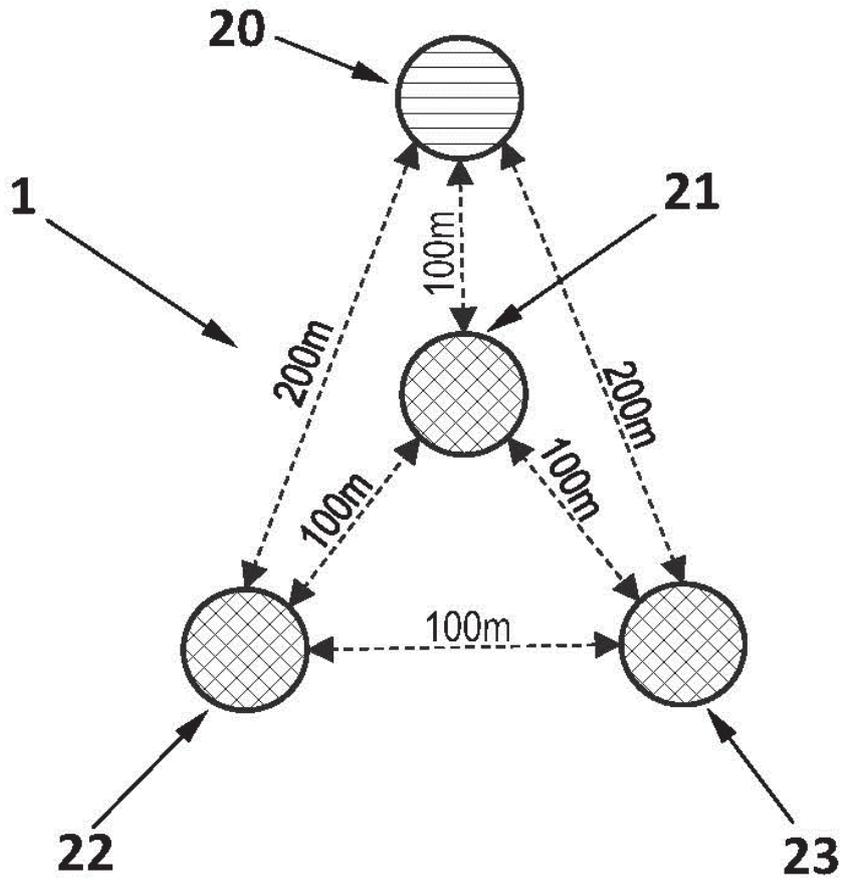


FIG. 2

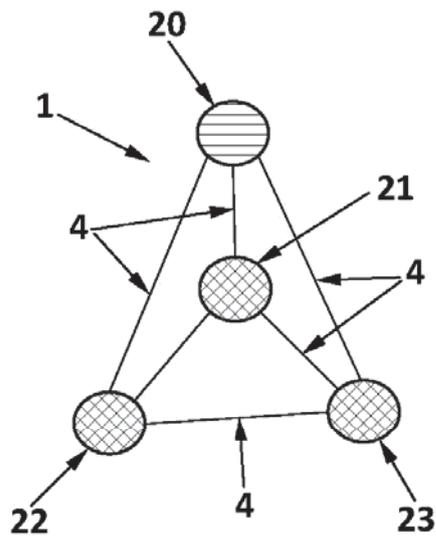


FIG. 3A

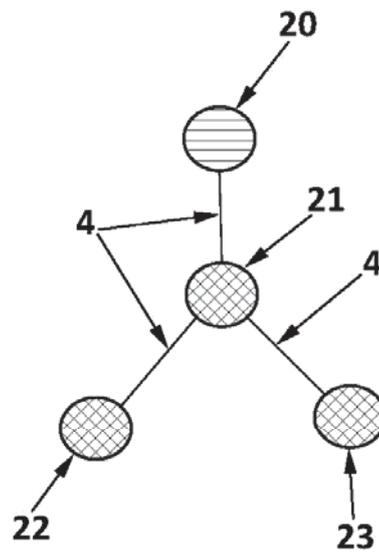


FIG. 3B

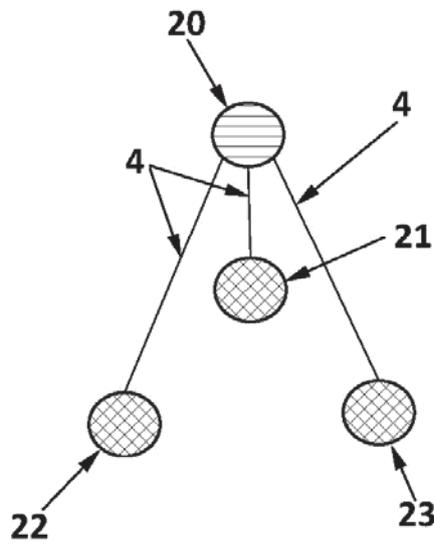


FIG. 3C

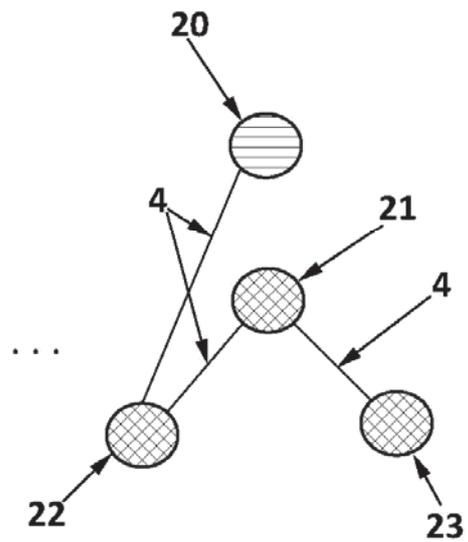


FIG. 3D

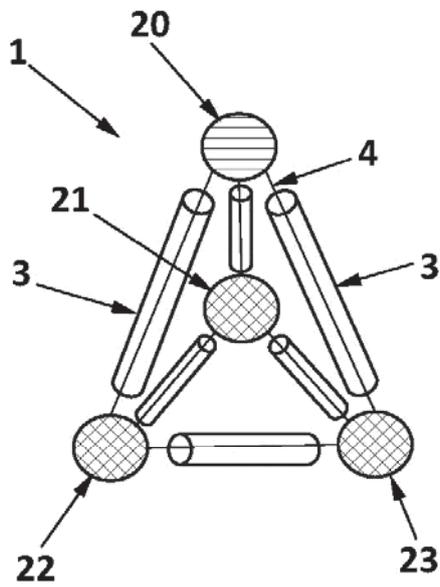


FIG. 4A

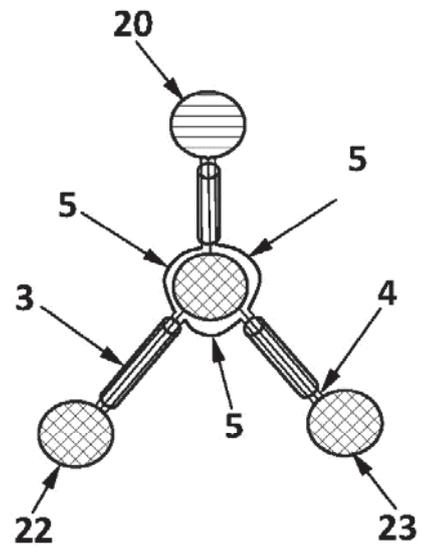


FIG. 4B

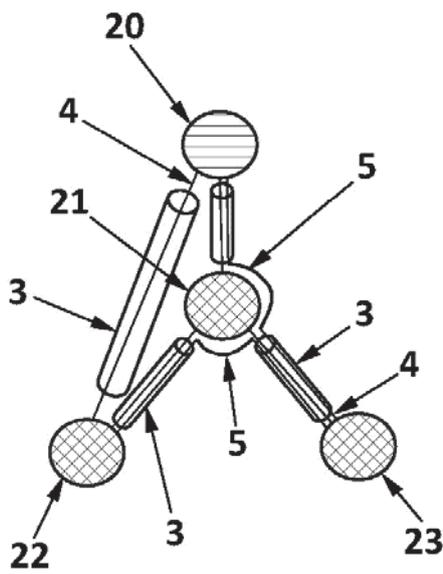


FIG. 4C

...

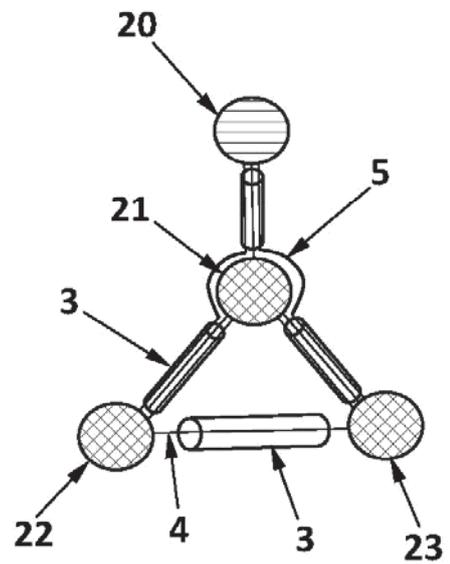


FIG. 4D



- ① N.º solicitud: 201731363
 ② Fecha de presentación de la solicitud: 28.11.2017
 ③ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.: **H04L12/28** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	R. ESTEPA, A. ESTEPA, T. CUPERTINO, J. M. VOZMEDIANO AND G. MADINABEITIA. A Productivity-Based Approach to LAN Topology Design. IEEE Communications Letters, 15/03/2011, Vol. 15, Nº 3, Páginas 349-351 [en línea][recuperado el 10/12/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5704845 >. abstract; pág. 349, párr. 1, col. 1; pág. 349, párr. 5, col. 1; pág. 349, párr. [1 - 4]; col. 2; pág. 350, párr. [1 - 5], col. 1; pág. 350, párr. 1, col. 2:	1-5
A	M. ABD-EL-BARR. Topological Network Design: A Survey. Journal of Network and Computer Applications, 01/01/2009, Nº 32, Págs. 501-509 [en línea][recuperado el 10/12/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://ac.els-cdn.com/S108480450800101X/1-s2.0-S108480450800101X-main.pdf?_tid=3257610f-4fe3-4669_b2aa6a4517527052&acdnat=1544464506_b3f76314a58ab498d55b57611e9d253a >. pág. 501, párr. [4 - 5], col. 1; pág. 503, párr. 3, col. 1; pág. 504, párr. 5; col. 1;	1-5

Categoría de los documentos citados

- X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

- O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
04.12.2018

Examinador
A. Oropesa García

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, internet