

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 890**

21 Número de solicitud: 201600194

51 Int. Cl.:

**H02M 7/487** (2007.01)  
**H02M 1/12** (2006.01)  
**H02M 5/458** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**15.03.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**15.09.2017**

Fecha de concesión:

**20.06.2018**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**27.06.2018**

73 Titular/es:

**GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY S.L.  
 (100.0%)  
 Parque Tecnológico de Zamudio, Edificio 100  
 48170 Bizkaia (Bizkaia) ES**

72 Inventor/es:

**RIZO MORENTE, Mario;  
 MAYOR MIGUEL, Alvar Gonzalo y  
 AGUDO ARAQUE, Andrés**

54 Título: **Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión para aplicaciones de lazo cerrado**

57 Resumen:

Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión para aplicaciones de lazo cerrado. El sistema (13) comprende un convertidor 3L-NPC (23) cuyo sistema de conmutación (27) se basa en patrones SHE-PWM. El sistema de regulación (25) del convertidor 3L-NPC (23) comprende un controlador (21) y un módulo de interfaz (29) entre el controlador (21) y el sistema de conmutación (27) que está configurado para suministrar al sistema de conmutación (27) muestras de referencias de tensión a una tasa L veces más rápida que la tasa de muestreo de referencias de tensión gestionada por el controlador (21).

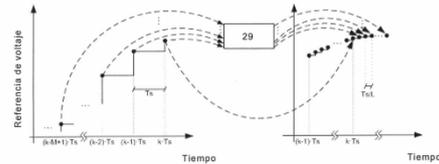


FIG. 2

ES 2 632 890 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP 11/1986.

## DESCRIPCIÓN

### UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA TRIFÁSICA DE MEDIA TENSIÓN PARA APLICACIONES DE LAZO CERRADO

#### CAMPO DE LA INVENCIÓN

5

La invención se refiere a sistemas de conversión de energía para aplicaciones de lazo cerrado.

#### ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

10

En la actualidad la tecnología electrónica disponible para convertidores de energía trifásica de media tensión (MT) ( $> 1.000$  V) limita drásticamente la frecuencia de conmutación en comparación con el nivel de baja tensión (BT) y, por lo tanto, degrada la calidad de la energía.

15

Con el fin de optimizar la calidad de la energía con una frecuencia de conmutación mínima y cumplir con las normas existentes en convertidores de energía MT, la técnica anterior sugiere la combinación de filtros de alto orden, tecnologías de conversión multinivel y Eliminación Selectiva de Armónicos-Modulación por Ancho de Pulsos (SHE-PWM, iniciales de "Selective Harmonic Elimination - Pulse-Width Modulation").

20

En particular, se considera que el convertidor diodo anclado de tres niveles (3L-NPC, iniciales de "3Level-Neutral Point Clamped"), donde los tres niveles de tensión se consiguen mediante un bus DC dividido en dos condensadores conectados en serie, es una topología adecuada para convertidores de energía MT.

25

Aunque se conocen sistemas de conversión de energía MT para aplicaciones de lazo abierto, la industria eléctrica demanda crecientemente sistemas de conversión de energía MT para aplicaciones de lazo cerrado.

Esta invención está dirigida a la atención de esa demanda.

#### SUMARIO DE LA INVENCIÓN

30

La invención proporciona un sistema de conversión de energía trifásica MT que comprende un convertidor 3L-NPC para el acoplamiento de un dispositivo de consumo de energía a una fuente de energía en modo de lazo cerrado.

El sistema de conmutación del convertidor 3L-NPC está basado en patrones SHE-PWM para la optimización de la calidad de la energía con una frecuencia de conmutación mínima.

5 El sistema de regulación del convertidor 3L-NPC comprende un controlador y un módulo de interfaz entre el controlador y el sistema de conmutación que está configurado para suministrar al sistema de conmutación muestras de referencias de tensión a una tasa L-veces más rápida que la tasa de muestreo de referencias de tensión gestionada por el controlador.

10 El controlador está configurado de acuerdo a un nuevo Modelo de Ecuación (EM, iniciales de "Equalization Model") del convertidor 3L-NPC con los patrones SHE-PWM.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de realizaciones ilustrativas de su objeto en relación con las figuras que se acompañan.

## 15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de conversión de energía trifásica MT para el acoplamiento, en un modo de lazo cerrado, de un dispositivo de consumo de energía a una fuente de energía según la invención.

20 La Figura 2 ilustra el principio de funcionamiento del módulo de interfaz de la invención.

## **DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION**

El sistema de conversión de energía trifásica MT 13 de la invención comprende:

25 - Un dispositivo de consumo de energía 15 (tal como una red de suministro eléctrico o un motor);

- Una fuente de energía 11 (tal como un aerogenerador o una red de suministro eléctrico);

30 - Un convertidor 3L-NPC 23 que tiene un sistema de regulación 25, comprendiendo un controlador 21 y un módulo de interfaz 29, y un sistema de conmutación 27.

El sistema de conmutación 27 se basa en patrones SHE-PWM para la optimización de la calidad de la energía con una frecuencia de conmutación mínima.

En aplicaciones de lazo cerrado SHE-PWM se enfrenta a algunas dificultades técnicas que no están presentes en aplicaciones de lazo abierto.

En primer lugar, la capacidad de cancelación de armónicos depende de la precisión de la conmutación y esto está fuertemente sujeto a la tasa de actuación del controlador 21. El aumento de la tasa de actuación en un sistema de lazo cerrado conduce a una mayor conversión analógica digital y una mayor tasa de ejecución. En general, los recursos disponibles en la plataforma digital de control no permiten esta carga extra de computación. En el caso de aplicaciones de lazo abierto se obtiene la referencia de tensión directamente y no se necesita controlador, por lo que la carga de computación es inexistente.

En segundo lugar, los dos condensadores DC del convertidor 3L-NPC 23 deben estar cargados con tensiones similares, en otro caso cabe esperar un fallo prematuro del dispositivo de conmutación, un disparo del equipo y una degradación de la calidad de la energía. La naturaleza no lineal de SHE-PWM no permite la aplicación de técnicas de ecualización convencionales.

Con el fin de romper el equilibrio entre la eliminación de armónicos y la gran carga de computación, el sistema de conversión de energía 13 comprende un módulo de interfaz 29 entre el sistema de conmutación 27 y el controlador 21 que predice L-1 muestras de la referencia de tensión para cada muestra recibida del controlador 21. De esta manera se suministra al sistema de conmutación 27 una tasa de muestreo L-veces más rápida mientras que el controlador 21 sólo se ejecuta una vez. La carga de computación se alivia pues L veces y el rendimiento de eliminación de armónicos no sólo no se degrada sino que se mejora.

La Figura 2 ilustra el principio de funcionamiento del módulo de interfaz 29 que ejecuta un algoritmo de predicción basado en información histórica en la que las L-1 muestras extra de la referencia de tensión se calculan a través de una extrapolación de un número dado M de muestras anteriores suministradas por el controlador 21, siendo L y M números naturales. El valor máximo de L está limitado por la precisión de la predicción, que está directamente relacionada con la cancelación de armónicos. El valor máximo de M está limitado por la dinámica del sistema.

En el lado izquierdo de la Figura 2 se muestran los valores de las referencias de tensión de las M muestras suministradas por el controlador 21 al módulo de interfaz 29 en los tiempos  $(k-M+1)T_s$ , ...,  $(k-2)T_s$ ,  $(k-1)T_s$ ,  $kT_s$ , siendo k una variable de tiempo y  $T_s$  el intervalo de muestreo del controlador 21.

En el lado derecho de la Figura 2 se muestran los valores de las referencias de tensión de las L-1 muestras predichas por el módulo de interfaz 29 para los intervalos de tiempo que comienzan en los tiempos  $(k-1)T_s$  y  $kT_s$  (el instante actual) teniendo en cuenta,

para cada intervalo de tiempo, la evolución de los valores de las referencia de tensión de las M muestras previas.

Las L-1 muestras están distribuidas uniformemente a lo largo del intervalo de muestreo  $T_s$  del controlador.

- 5 El módulo de interfaz 29 también se ocupa del no deseado fenómeno de "imaging", común en los procesos de sobre-muestreo, y su influencia sobre la regulación está totalmente modelada con el fin de garantizar el correcto funcionamiento.

El módulo de interfaz 29 permite trabajar con tasas de muestreo casi analógicas en el sistema de conmutación 27 mientras la rutina de control se ejecuta en el controlador 21 con una tasa convencional, por lo que es suficiente una tarjeta de control digital típica. De esta manera la capacidad de cancelación de armónicos alcanza el máximo impuesto por el convertidor 3L-NPC 23 y, de hecho, se optimiza la calidad de la energía con frecuencias de conmutación bajas.

En cuanto a la igualación de las tensiones de los condensadores DC del convertidor 3L-NPC 23 que tiene un sistema de conmutación 27 basado en patrones SHE-PWM, el controlador 21 está configurado según el enfoque del modelo de ecualización (EM). El EM se construye mediante el estudio de la inyección y la retroalimentación de la Secuencia Negativa de Segundo Orden (SONS, de "Second Order Negative Sequence"). Una corriente SONS es inyectada naturalmente por el convertidor 3L-NPC 23 en sí mismo cada vez que se produce un desequilibrio de tensión. El controlador 21 lo detecta e inserta una tensión SONS que modifica la corriente previa. La iteración de la corriente SONS con los patrones de conmutación SHE-PWM tiene un impacto directo sobre la diferencia de tensión entre los condensadores DC. Con la ayuda del EM es posible configurar el controlador 21 para asegurar una igualación estable, aumentar la dinámica del proceso y controlar la inyección transitoria de secuencias adicionales.

La invención es aplicable a sistemas de generación de energía distribuida basados en Media Tensión y otros campos como minería, bombas o motores MT.

La principal ventaja de la invención es que no sólo hace posible el uso de un sistema de conmutación 27 basado en patrones SHE-PWM con un convertidor de 3L-NPC 23 en aplicaciones de lazo cerrado, sino que también lleva su rendimiento al límite óptimo. Por consiguiente, el sistema de conversión de energía 13 propuesto es altamente competitivo en términos de eficacia y costes.

Aunque se ha descrito la presente invención en conexión con varias realizaciones, puede apreciarse a partir de la descripción que pueden hacerse varias combinaciones

de elementos, variaciones o mejoras en ellas y que están dentro del alcance de la invención definido en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión (13) para el acoplamiento de un dispositivo de consumo de energía (15) a una fuente de alimentación (11) en un modo de lazo cerrado, a través de un convertidor 3L-NPC (23) que tiene un sistema de regulación (25) con un controlador (21) y un sistema de conmutación (27), caracterizado porque:
- el sistema de conmutación (27) está basado en patrones SHE-PWM;
  - el sistema de regulación (25) también comprende un módulo de interfaz (29) entre el controlador (21) y el sistema de conmutación (27) que está configurado para suministrar al sistema de conmutación (27) muestras de referencias de tensión a una tasa L veces más rápida que la tasa de muestreo de referencias de tensión gestionada por el controlador (21).
2. Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión (13) según la reivindicación 1, en el que el módulo de interfaz (29) suministra al sistema de conmutación (27) L-1 muestras por cada muestra de referencia de tensión recibida desde el controlador (21) que se generan de acuerdo con un modelo predictivo basado en información histórica.
3. Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión según la reivindicación 2, en el que dicho modelo predictivo para cada conjunto de L-1 muestras está basado en los valores de un número dado M de muestras previas recibidas desde el controlador (21).
4. Un sistema de conversión de energía trifásica de media tensión (13) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el controlador (21) está configurado según un enfoque EM para la inyección de una corriente SONS en el convertidor 3L-NPC (23) cuando la tensión de sus dos condensadores DC no está equilibrada de forma iterativa hasta que se equilibren.

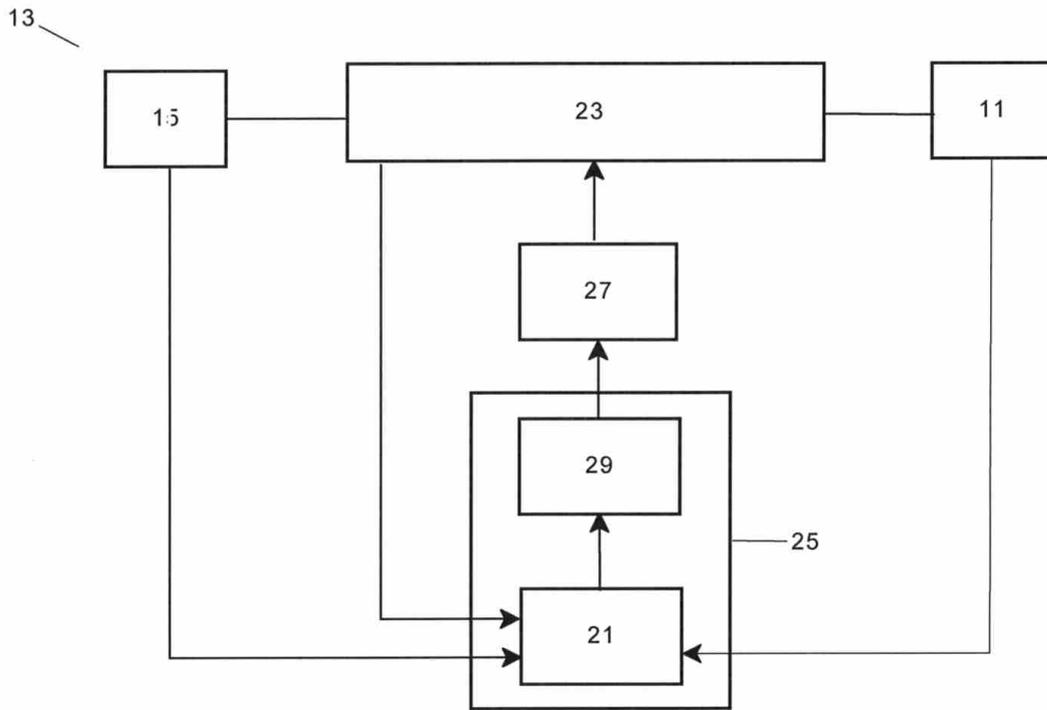


FIG. 1

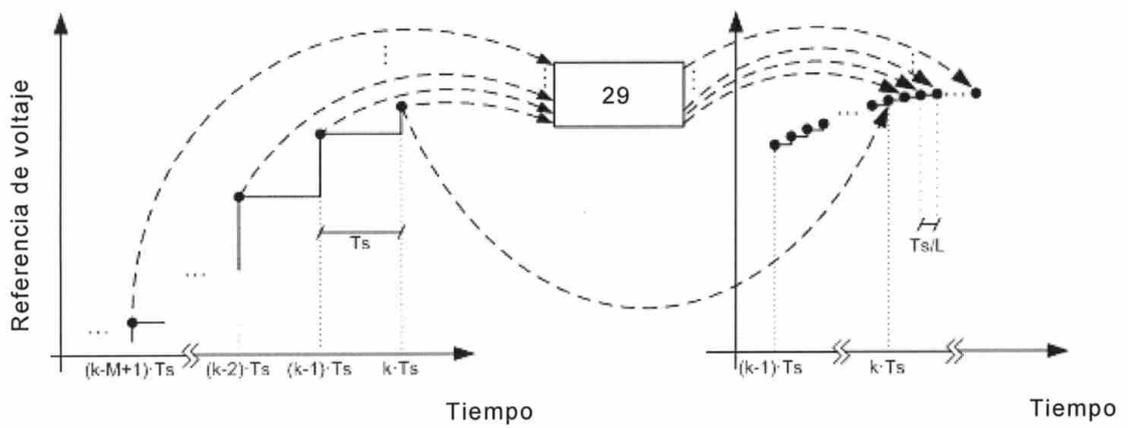


FIG. 2



- ②① N.º solicitud: 201600194  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 15.03.2016  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2014079125 A1 (UNIV TIANJIN) 30/05/2014, resumen; página 1 líneas 1-32, página 4 líneas 1-6, página 6 líneas 1-10	1-3
Y		4
Y	Javier Chivite-Zabalza et al. VOLTAGE BALANCING CONTROL IN 3-LEVEL NEUTRAL-POINT CLAMPED INVERTERS USING TRIANGULAR CARRIER PWM MODULATION FOR FACTS APPLICATIONS. 01/10/2013, <DOI: 10.1109/TPEL.2012.2237415>. resumen, apartados I,IIA,V resumen, apartados I,IIA,V	4
A	J.Napoles et al. IMPLEMENTATION OF A CLOSED LOOP SHMPWM TECHNIQUE FOR THREE LEVEL CONVERTERS. 13/11/2008, <DOI: 10.1109/IECON.2008.4758482>. resumen resumen	1-4
A	US 2015002121 A1 (WANG CHI-MING et al.) 01/01/2015, Todo el documento.	1-4

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  
07.08.2017

Examinador  
F. J. Dominguez Gomez

Página  
1/5

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**H02M7/487** (2007.01)

H02M1/12 (2006.01)

H02M5/458 (2006.01)

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

H02M

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

EPODOC, WPI, INSPEC, IEEE, NPL

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 07.08.2017

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-4	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-4	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2014079125 A1 (UNIV TIANJIN)	30.05.2014
D02	Javier Chivite-Zabalza et al. VOLTAGE BALANCING CONTROL IN 3-LEVEL NEUTRAL-POINT CLAMPED INVERTERS USING TRIANGULAR CARRIER PWM MODULATION FOR FACTS APPLICATIONS. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL 28, NO 10, <DOI: 10.1109/TPEL.2012.2237415>	01.10.2013
D03	J.Napoles et al.. IMPLEMENTATION OF A CLOSED LOOP SHMPWM TECHNIQUE FOR THREE LEVEL CONVERTERS. Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE, <DOI: 10.1109/IECON.2008.4758482>	13.11.2008

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud. Este documento, considerado solo o en combinación con otros documentos, afecta a la actividad inventiva de todas sus reivindicaciones, tal y como se explicará a continuación:

Reivindicaciones independientesReivindicación 1

En relación con la reivindicación 1 en el documento D01 se describe, de forma explícita o implícita, el siguiente dispositivo (las referencias entre paréntesis se refieren a D01):

Un método de conversión de energía trifásica de media tensión, a través de un convertidor 3L-NPC (resumen) que tiene un sistema de regulación con un controlador y un sistema de conmutación, que comprende una etapa de cálculo predictivo de la corriente muestreada antes del periodo de muestreo siguiente, para suministrar al sistema de conmutación muestras de referencias aumentando la tasa de muestreo (página 4 líneas 1-6), para a la vez reducir la carga computacional del controlador (página 1 líneas 1-32), y reducir el contenido de armónicos (página 4 líneas 1-6).

Las diferencias entre el objeto de la reivindicación 1 y D01 consisten en:

- Sistema en lugar de método para el acoplamiento de un dispositivo de consumo de energía a una fuente de alimentación en un modo de lazo cerrado basado en patrones SHE-PWM (técnica bien conocida según resumen de D03),
- donde el sistema de regulación comprende un módulo de interfaz entre el controlador y el sistema de conmutación,
- que se muestrea la tensión en lugar de la corriente y
- donde la tasa de muestras de referencia es L veces mayor.

Dichas diferencias no producen ningún efecto técnico adicional al ya divulgado por D01, por lo que el problema técnico objetivo sería cómo encontrar una alternativa al sistema descrito en D01.

Un experto en la materia motivado por buscar una alternativa a D01, y utilizando únicamente sus enseñanzas y los conocimientos generales que posee, modificaría el sistema descrito en D01 llegando al objeto de la reivindicación 1 con una expectativa razonable de éxito.

Por lo mencionado, la reivindicación 1 presenta novedad (Artículo 6.1 LP) pero carece de actividad inventiva (Artículo 8.1 LP).

Reivindicaciones dependientesReivindicaciones 2-3

La reivindicación 2 añade a las características de la reivindicación 1 que el módulo de interfaz suministra al sistema de conmutación L-1 muestras por cada muestra de referencia de tensión recibida desde el controlador que se generan de acuerdo con un modelo predictivo basado en información histórica.

La reivindicación 3 añade a las características de la reivindicación 1 que dicho modelo predictivo para cada conjunto de L-1 muestras está basado en los valores de un número dado M de muestras previas recibidas desde el controlador (21).

Estos aspectos se consideran meras variantes de diseño de modelo predictivo lineal que no implican un efecto técnico más allá de lo divulgado en D01.

Por lo mencionado, las reivindicaciones 2-3 presentan novedad (Artículo 6.1 LP) pero carecen de actividad inventiva (Artículo 8.1 LP).

Reivindicación 4

La reivindicación 4 añade a las características de la reivindicación 1 que el controlador está configurado según un enfoque EM para la inyección de una corriente SONS en el convertidor 3LNPC cuando la tensión de sus dos condensadores DC no está equilibrada de forma iterativa hasta que se equilibren.

El problema de la igualación de las tensiones DC del convertidor se menciona en D01 (página 6 líneas 1-10), si bien en este documento se resuelve de manera diferente empleando un modelo de diferencia en función del estado de conmutación y resolviéndolo por métodos numéricos.

Por su parte, D02 divulga (resumen, apartados I, IIA, V de D02) asimismo el problema de igualación de tensiones en convertidores 3LNPC, así como una de las soluciones conocidas mediante inyección de tensiones armónicas de segundo orden de secuencia negativa.

El experto en la materia conocería D02 y D01 al ser del mismo campo y tratar el mismo problema técnico, por lo que se vería inclinado a combinar sus enseñanzas llegando al objeto de la reivindicación 4 con una expectativa razonable de éxito.

Por lo mencionado, la reivindicación 4 presenta novedad (Artículo 6.1 LP) pero carece de actividad inventiva (Artículo 8.1 LP).