

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 900 056**

51 Int. Cl.:

**B63H 21/20** (2006.01)

**H02K 55/04** (2006.01)

**H02K 11/01** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.09.2018 PCT/US2018/049903**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2019 WO19051195**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2018 E 18778759 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.11.2021 EP 3678932**

54 Título: **Sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica para un navío**

30 Prioridad:

**07.09.2017 US 201715697549**  
**11.12.2017 US 201762597150 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.03.2022**

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION**  
**(100.0%)**  
**114 East Main Street**  
**Ayer, Massachusetts 01432, US**

72 Inventor/es:

**ULLIMAN, JOHN, M.;**  
**FOLTS, DOUGLAS, C.;**  
**GAMBLE, BRUCE, B. y**  
**CALLIS, STEPHEN, I.**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 900 056 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica para un navío

**5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica la prioridad a la solicitud de los EE. UU. con n.º de serie 62/597.150, presentada el 11 de diciembre de 2017, titulada "SISTEMA HÍBRIDO DE PROPULSIÓN Y ENERGÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA PARA UN NAVÍO", que está relacionada con, y que reivindica, prioridad respecto a la solicitud pendiente de los EE. UU. con n.º de serie 15/697.549, presentada el 7 de septiembre de 2017, titulada "GENERADOR SUPERCONDUCTOR DE ALTA TEMPERATURA CON MAYOR INERCIA ROTACIONAL".

**Campo de la invención**

Esta invención se refiere a un sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica para un navío, y más específicamente a tal sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica que utiliza un motor high temperature superconductor (superconductor de alta temperatura - HTS) y generadores HTS para proporcionar energía exclusivamente a al menos uno de los ejes de hélice y una unidad mecánica para proporcionar energía exclusivamente a al menos otro eje de hélice.

**Antecedentes de la invención**

La industria del transporte y armadas de todo el mundo están interesadas en mejorar los navíos utilizando tecnologías avanzadas para proporcionar, por ejemplo, eficiencia mejorada de combustible, mayor capacidad eléctrica y sistemas a bordo más sofisticados. Una reducción de tamaño y peso en los sistemas de propulsión y generación de energía proporcionará espacio adicional para más equipos, carga y/o tripulación, así como un mejor ahorro de combustible. En los navíos, pueden ser de interés para armadas de todo el mundo nuevas variedades de armas eléctricas, sensores avanzados y sistemas de soporte integrados. Tales sistemas pueden incluir cañones electromagnéticos y armas de energía dirigida de láser o microondas de alta energía, que presentan demandas de energía eléctrica especialmente rigurosas. Por ejemplo, requieren grandes cantidades de energía eléctrica durante períodos de tiempo muy cortos.

Sistemas típicos de propulsión y generación de energía de navíos utilizan tecnologías de turbina de gas marina y motores diesel marinos para accionar los ejes de hélice del navío a través de un engranaje reductor principal para movilidad y energía eléctrica dedicada separada generada por motores primarios que se utiliza para accionar generadores eléctricos para proporcionar energía a redes eléctricas que alimentan los sistemas eléctricos a bordo. Existen límites físicos en las reducciones de tamaño y peso que pueden lograrse con tecnologías de turbina de gas, y no son probables avances significativos. Además, las tecnologías de generador de turbinas de gas marinas y motores diesel marinos utilizadas para producir energía eléctrica, se diseñan, de forma típica, para funcionar de forma eficiente y fiable a carga constante. Por lo tanto, no pueden soportar las cargas dinámicas descritas anteriormente asociadas a sistemas eléctricos avanzados, tales como armas eléctricas, sin mejoras significativas y costosas del sistema eléctrico, que pueden incluso no caber en el navío. Por ejemplo, con un sistema generador de turbina de gas convencional, puede ser necesario un sistema de almacenamiento de energía adicional, tal como baterías o un volante, para eliminar los efectos de pulso del almacenamiento de energía primario que proporciona energía a las armas eléctricas.

El concepto de un navío totalmente eléctrico, que puede incluir el uso de medios eléctricos para todas las necesidades de energía, incluyendo propulsión, en vez de otros medios tales como mecánicos, neumáticos e hidráulicos, está cobrando fuerza. Tales navíos completamente eléctricos, que tienen un integrated power system (sistema de energía integrado - IPS), en particular, aquellos que utilizan motores y generadores de superconductores de alta temperatura, darán lugar a reducciones de tamaño y peso, que proporcionarán espacio adicional y capacidad de peso para más equipo, carga, armas y/o tripulación, así como a una eficiencia mejorada y un mayor ahorro de combustible. Estos sistemas están previstos para compartir energía eléctrica de forma continua a través de un bus eléctrico común que permite que la alimentación compartida universalmente para todas las funciones eléctricas del navío alimente los propulsores, para proporcionar energía a los sistemas de combate y para alimentar las cargas de iluminación. Sin embargo, muchos diseños de navíos actuales son tales que no hay suficiente espacio o capacidad de peso disponibles para soportar la cantidad de potencia adicional necesaria e, incluso si la hubiera, el sistema de potencia no está lo suficientemente desarrollado como para gestionar y suavizar las distorsiones extremas de energía de impulsos que son un subproducto de armas eléctricas para un diseño de arquitectura de "bus eléctrico común" para funcionar y sobrevivir. Por lo tanto, una solución totalmente eléctrica verdadera no es actualmente una opción viable para muchos navíos de peso y espacio limitado.

Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema de propulsión y de energía de navíos económico que sea capaz de proporcionar energía a nuevas variedades de armas, sensores avanzados y sistemas de soporte integrados que tengan exigencias rigurosas de energía, y para un sistema que pueda proporcionar reducciones de tamaño y peso que proporcionen más espacio y un mejor ahorro de combustible

La WO2016/052213 A1 describe un sistema híbrido de propulsión eléctrica y mecánica de navíos en el que una hélice es accionada por un motor eléctrico y otra por una turbina de vapor.

- 5 La US 2012/190554 A1 describe un sistema de propulsión eléctrica de navíos que puede utilizar bobinados de high temperature superconductor (superconductores de alta temperatura - HTS).

**Resumen de la invención**

- 10 En un aspecto, la invención presenta un sistema híbrido de propulsión y alimentación eléctrica de navío eléctrico y mecánico, que incluye una primera planta de alimentación mecánica configurada para accionar exclusivamente una primera hélice a través de un primer eje y una segunda planta de energía eléctrica configurada para accionar exclusivamente una segunda hélice a través de un segundo eje. La segunda planta de energía eléctrica incluye un motor high temperature superconductor (superconductor de alta temperatura - HTS) interconectado con el segundo eje.
- 15 Hay una primera red eléctrica a la cual se conecta el motor HTS para proporcionar energía al motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje.

- En otros aspectos de la invención, pueden incluirse una o más de las siguientes características. Puede incluirse al menos un sistema de armas eléctricas interconectado con, y alimentado por, la primera red eléctrica. Puede incluirse además una
- 20 segunda red eléctrica configurada para dar energía al sistema eléctrico de servicio del navío; en donde la segunda red eléctrica está conectada a un interruptor de desconexión que también está conectado a la primera red eléctrica; el interruptor de desconexión está configurado para conectar y desconectar la primera red eléctrica y la segunda red eléctrica. La segunda planta de energía eléctrica puede incluir al menos un generador HTS conectado a la primera red eléctrica a través de un primer conmutador. El al menos un generador HTS puede ser un generador HTS de inercia alta.
- 25 La primera planta de energía mecánica puede incluir al menos un motor primario de turbina de gas o motor diesel interconectado a un engranaje reductor principal, y en la presente descripción el engranaje reductor principal puede estar conectado al primer eje para accionar la primera hélice. Además, puede incluirse al menos un turbogenerador de servicio o generador diésel de navío interconectado a la segunda red eléctrica. También puede incluirse un segundo conmutador que conecta al menos una carga de energía pulsada a la primera red eléctrica. La primera planta de energía mecánica puede
- 30 configurarse para instalarse en una primera sala de máquinas del navío y la segunda planta de energía eléctrica puede configurarse para instalarse en una segunda sala de máquinas en el navío. En la segunda sala de máquinas en el navío puede incluirse el al menos un generador HTS de la segunda planta de energía. El motor HTS puede montarse en la segunda sala de máquinas más bajo en un casco del navío que al menos un generador HTS. El motor HTS en la segunda sala de máquinas se monta más abajo en el casco del navío que el engranaje reductor principal en la primera sala de
- 35 máquinas. El engranaje reductor principal puede interconectarse al primer eje en un primer ángulo y el motor HTS puede interconectarse al segundo eje en un segundo ángulo, y en donde el primer ángulo es mayor que el segundo ángulo.

- En otros aspectos de la invención, pueden incluirse una o más de las siguientes características. Puede incluirse un controlador configurado para accionar la propulsión del navío y el sistema de energía eléctrica en al menos dos
- 40 modos de operación. En un primer modo, el controlador puede configurarse para conectar el al menos un generador HTS y la al menos una carga de energía pulsada a la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador puede configurarse para abrir el interruptor de desconexión para aislar la primera red eléctrica de la segunda red eléctrica, para permitir así que la primera red eléctrica proporcione energía al motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje y
- 45 simultáneamente alimente la al menos una carga de energía pulsada. En el primer modo, el controlador puede configurarse, además, para accionar la primera planta de energía mecánica para accionar la segunda hélice a través del segundo eje. En un segundo modo, el controlador puede configurarse para conectar el al menos un generador HTS a, y desconectar la al menos una carga de energía pulsada de, la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador puede configurarse para cerrar el
- 50 interruptor de desconexión para conectar la primera red eléctrica a la segunda red eléctrica, permitiendo de este modo que la primera red eléctrica suministre energía a la segunda red eléctrica y proporcione energía simultáneamente al motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje. En el segundo modo, el controlador puede configurarse, además, para accionar la primera planta de energía mecánica para accionar la segunda hélice a través del segundo eje. En un tercer modo, el controlador puede configurarse para desconectar el
- 55 al menos un generador HTS y la al menos una carga de energía pulsada de la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador puede configurarse para cerrar el interruptor de desconexión para conectar la primera red eléctrica a la segunda red eléctrica, permitiendo de este modo que la segunda red eléctrica suministre energía a la primera red eléctrica y simultáneamente proporcione energía al motor HTS para accionar el segundo hélice a través del segundo eje. En el tercer modo, el controlador
- 60 puede configurarse además para finalizar el funcionamiento de la primera planta de energía mecánica y para permitir que la segunda hélice se establezca a través del segundo eje.

- En otro aspecto, la invención presenta una máquina rotativa de high temperature superconductor (superconductor de alta temperatura - HTS) que tiene un eje longitudinal y una primera inercia rotacional. La máquina rotatoria
- 65 incluye un conjunto cilíndrico de estátor dispuesta alrededor del eje longitudinal y un conjunto cilíndrico de rotor dispuesto dentro del conjunto del estátor y configurado para girar dentro del conjunto del estátor alrededor del eje

longitudinal. El conjunto de rotor comprende al menos un conjunto de bobinado HTS que, en funcionamiento, genera un flujo magnético junto con el conjunto del estátor. Hay un blindaje electromagnético cilíndrico dispuesto alrededor de al menos un conjunto de bobinado HTS y el blindaje electromagnético cilíndrico tiene una segunda inercia rotacional. Existe un sistema de enfriamiento criogénico para enfriar el al menos un conjunto de bobinado superconductor del conjunto de rotor. La segunda inercia rotacional es al menos un ochenta por ciento (80 %) de la primera inercia rotacional.

En otros aspectos adicionales de la invención, pueden incluirse una o más de las siguientes características. El al menos un bobinado HTS puede comprender N pares de polos, p. La máquina rotatoria puede tener un radio, R1, desde el eje longitudinal hasta el al menos un bobinado HTS. El blindaje electromagnético cilíndrico puede tener un espesor t y el espesor t puede ser mayor que 50 % de R1/p. El blindaje electromagnético cilíndrico puede comprender metal. El metal puede comprender uno o más de cobre, acero, plomo, oro, tungsteno y uranio empobrecido.

Un aspecto adicional de la invención presenta un turbogenerador que tiene una turbina y un eje interconectado en un primer extremo a la turbina. Hay una máquina rotatoria de high temperature superconductor (superconductor de alta temperatura - HTS) conectada a un segundo extremo del eje y que tiene un eje longitudinal y una primera inercia rotacional. La máquina rotatoria HTS incluye un conjunto cilíndrico de estátor dispuesto alrededor del eje longitudinal. Hay un conjunto de rotor cilíndrico dispuesto dentro del conjunto de estátor y configurado para girar dentro del conjunto de estátor alrededor del eje longitudinal. El conjunto de rotor incluye al menos un conjunto de bobinado HTS que, en funcionamiento, genera un flujo magnético que une el conjunto de estátor. Hay un blindaje electromagnético cilíndrico dispuesto alrededor de al menos un conjunto de bobinado HTS. El blindaje electromagnético cilíndrico tiene una segunda inercia rotacional. Existe un sistema de enfriamiento criogénico para enfriar el al menos un conjunto de bobinado superconductor del conjunto de rotor. La segunda inercia rotacional es al menos un ochenta por ciento (80 %) de la primera inercia rotacional.

Al menos un bobinado HTS puede comprender N pares de polos, p. La máquina rotatoria puede incluir un radio, R1, desde el eje longitudinal hasta el al menos un bobinado HTS. El blindaje electromagnético cilíndrico puede tener un espesor t y en donde el espesor t puede ser mayor que 50 % de R1/p. El blindaje electromagnético cilíndrico puede comprender metal. El metal puede comprender uno o más de cobre, acero, plomo, oro, tungsteno y uranio empobrecido.

En otros aspectos de la invención, pueden incluirse una o más de las siguientes características.

### Breve descripción de las figuras

Las realizaciones de la presente descripción se describirán ahora, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a las figuras adjuntas, en donde: la

**FIG. 1** muestra una vista en perspectiva de un navío con sistemas de armas eléctricas y un sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica según un aspecto de esta descripción; la

**FIG. 2** muestra un diagrama esquemático del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 1; la

**FIG. 3** muestra un gráfico de la velocidad de rotación del turbogenerador a lo largo del tiempo para ilustrar el impacto de las cargas de energía pulsada sobre la velocidad de rotación del generador y, por lo tanto, sobre la producción de energía; la

**FIG. 4** muestra una vista en sección transversal de un generador HTS, tomada a lo largo de la longitud del generador, diseñado para su optimización en la reducción del tamaño y del peso; la

**FIG. 5A** muestra una vista en sección transversal del tipo de generador HTS de la FIG. 4, tomada a través de la anchura del generador, para ilustrar las dimensiones del generador que incluyen el espesor del blindaje electromagnético y el hueco electromagnético; y la

**FIG. 5B** muestra una vista en sección transversal de un generador HTS con mayor inercia rotacional según un aspecto de esta invención, tomada a través de la anchura del generador, para ilustrar las dimensiones del generador, que incluyen el espesor del blindaje electromagnético y la brecha electromagnética. La

**FIG. 6A** muestra un diagrama esquemático del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 2 que ilustra un modo de armas eléctricas activas con accionamiento eléctrico activado; la

**FIG. 6B** muestra un diagrama esquemático del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 2 que ilustra un modo de armas eléctricas inactivas con el accionamiento eléctrico activado y la energía de los sistemas eléctricos de servicio del navío; la

**FIG. 6C** muestra un diagrama esquemático del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 2 que ilustra un modo económico con el accionamiento eléctrico alimentado por los sistemas de energía del navío y un accionamiento mecánico desactivado; la

5 **FIG. 7** muestra una vista en sección transversal del navío de la Fig. 1 tomada a lo largo del navío a lo largo de las líneas A-A y desde el extremo delantero del navío que representa la sala de máquinas 1 (ER1) antes de una modernización según esta descripción; la

10 **FIG. 8** muestra una vista en sección transversal del navío de la Fig. 1 tomada a lo largo del navío a lo largo de las líneas A-A y desde el extremo delantero del navío que ilustra la sala de máquinas 1 (ER1) después de una modernización según esta descripción; y la

15 **FIG. 9** muestra una vista en sección transversal longitudinal del navío de la Fig. 1 tomada a lo largo de las líneas B-B que ilustran la sala de máquinas 1 (ER1) después de una modernización según la presente descripción.

**Descripción detallada de la invención**

20 La descripción y las diversas características y detalles ventajosos de esta se explican más completamente con referencia a las realizaciones y ejemplos no limitantes que se describen y/o ilustran en las figuras adjuntas y se detallan en la siguiente descripción. Cabe señalar que las características ilustradas en las figuras no están necesariamente dibujadas a escala, y las características de una realización pueden emplearse con otras realizaciones como reconocerá el técnico con experiencia, aun cuando no se mencione explícitamente en la presente descripción.

25 Las descripciones de componentes muy conocidos y técnicas de procesamiento pueden omitirse para no oscurecer innecesariamente las realizaciones de la descripción. Los ejemplos utilizados en la presente memoria pretenden simplemente facilitar una comprensión de los modos en que la descripción puede ponerse en práctica y permitir además que los expertos pongan en práctica las realizaciones de la descripción. En consecuencia, los ejemplos y realizaciones de la presente memoria no deben interpretarse como limitativas del ámbito de la descripción. Además, se observa que números de referencia similares representan partes similares a lo largo de las diversas vistas de las figuras.

35 Con referencia a la Fig. 1, se muestra el navío 10, que puede ser un navío militar, por ejemplo, un destructor. Si bien los aspectos inventivos de esta descripción son especialmente aplicables a navíos militares, la invención no se limita a navíos militares y podría aplicarse a otros tipos de navíos con requisitos de energía significativos/rigurosos y con necesidad de reducir el tamaño y el peso, tales como cruceros. El navío 10 incluye un primer motor 12 totalmente eléctrico y un segundo motor 14 totalmente mecánico, que juntos forman parte de un sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica. Aún en este ejemplo, el motor 12 totalmente eléctrico es el motor de estribor y el motor totalmente mecánico es el motor de babor, podrían invertirse, con el motor totalmente eléctrico estando en el lado de babor del navío 10 y el conjunto mecánico estando en el lado de estribor del navío 10. Además, la invención no se limita a un navío con dos motores y podría aplicarse a una cantidad mayor de motores, siempre que haya al menos un motor mecánico y al menos un motor eléctrico.

45 Cabe señalar que existen ejemplos de navíos donde un eje de hélice es accionado por una combinación de un motor eléctrico pequeño (para ahorrar combustible) y luego energía mecánica directa procedente de una turbina de gas. Esto se logra con un engranaje reductor principal que puede acomodar, por ejemplo, una turbina de gas de 25.000 CV que gira a 3.600 RPM y un motor eléctrico de 2 MW que gira a alguna otra velocidad. Este se denomina también “motor eléctrico híbrido”. Una característica única del sistema híbrido descrito en la presente memoria es que un eje es accionado mecánicamente de forma exclusiva y el otro eje es accionado eléctricamente de forma exclusiva.

50 El sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica según esta descripción puede instalarse en un navío recientemente construido según un nuevo diseño de navío o puede instalarse como una modernización a un navío/diseño anterior/existente. La modernización puede ser de un navío ya construido en donde un accionamiento mecánico es sustituido por un accionamiento totalmente eléctrico o puede ser una modernización de un diseño de navío existente en donde el navío se construirá nuevo con un sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica. En el caso de modernización de un diseño/navío que es lo que se describe en el ejemplo proporcionado en la presente memoria, tanto los motores a babor como de estribor en la configuración de navío original serían motores mecánicos. Por lo tanto, el primer motor mecánico sería sustituido por un motor 12 totalmente eléctrico y el segundo motor mecánico 14 mantendría el diseño original del navío. También se incluyen en el navío 10 determinadas armas eléctricas 16 y 18, que pueden ser, por ejemplo, cañones electromagnéticos y armas de energía dirigida de láser o microondas de alta energía que requieren grandes cantidades de energía durante períodos de tiempo muy cortos.

65 Como se ha descrito anteriormente, un navío equipado con tecnologías de generador de motores marinos de turbina de gas y diésel, no podrá dar soporte a tales armas eléctricas avanzadas, dado que los generadores de motor marino de turbina de gas marino y diésel se diseñaron originalmente para funcionar de forma eficiente y

fiable a carga constante. Si bien un navío totalmente eléctrico soportará sistemas de armas eléctricas, los requisitos de calidad de la energía para los sistemas de navío integrados son estrictos (denominada energía tipo 1) y requieren componentes de calidad de energía adicionales costosos aún no desarrollados completamente, tales como inductancia en serie u otros medios de almacenamiento de energía. Esto da lugar a muchos más componentes de sistema grandes que son difíciles y tal vez imposibles de alojar en el navío y que tienen un coste elevado. Sin embargo, el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica 20, Fig. 2, es capaz de alimentar sistemas avanzados de armas eléctricas y sistemas embarcados integrados, así como proporcionar propulsión de navío a un coste asequible y reducir el tamaño, el peso y la complejidad técnica, en comparación con la configuración original.

Como se ilustra en la Fig. 2, el sistema 20 híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica incluye dos turbogeneradores 22 y 24. Cada turbogenerador en este ejemplo puede producir 29 MW de potencia trifásica a 4500 V CA (u otro nivel de voltaje adecuado, tal como 6 KV) a 60 Hz. Como se muestra, el turbogenerador 22 se conecta a la primera red eléctrica 21 a través del conmutador trifásico 26, mientras que el turbogenerador 24 se conecta a la primera red eléctrica 21 a través del conmutador trifásico 28. Los turbogeneradores 22 y 24 tienen, por ejemplo, motores primarios de turbinas de gas (o motores diésel) de 29 MW que pueden girar a altas rpm y generadores eléctricos 25 y 27 de motor, respectivamente. En este ejemplo, los generadores eléctricos 25 y 27 pueden ser, por ejemplo, generadores HTS de 2 o 4 polos, a 3600 rpm que producen 29 MW a 60 Hz cada uno. Sin embargo, la descripción no está limitada a ningún generador o nivel de energía de turbina de gas, número de polos o configuración particular, y es aplicable a diversos sistemas de turbina de gas.

El conmutador 26 se conecta al conmutador 28 mediante cable 30 de babor/estribor de forma que en caso de fallo de uno de los turbogeneradores, su conmutador respectivo pueda retroalimentarse y recibir energía del turbogenerador operativo. Los cables 32 y 34 del conmutador 26 y 28, respectivamente, suministran energía al motor 36 de propulsión eléctrica, que puede ser un motor eléctrico convencional o un motor HTS. En este ejemplo, la entrada de nivel de tensión al motor eléctrico 36 de velocidad variable es CA de nueve fases a 2700 V; por lo tanto, la energía del conmutador 26 y 28 debe convertirse y acondicionarse mediante un sistema de accionamiento de motor adecuado, descrito a continuación.

La salida del conmutador 26 puede conectarse al rectificador 38 y después la CC puede convertirse a CA de nueve fases con el inversor 40. El rectificador 38 y el inversor 40 forman un accionamiento del motor para controlar la entrada de corriente al motor 36, y la velocidad de rotación del motor 36 cuando se conectan al motor 36 mediante un armario 42 de desconexión. La salida del conmutador 28 puede convertirse a CC con el rectificador 44 y después la CC puede convertirse a CA de nueve fases con el inversor 46. El rectificador 44 y el inversor 46 forman un accionamiento del motor para controlar la entrada de corriente al motor 36, y la velocidad de rotación del motor 36 cuando se conectan al motor 36 mediante un armario 42 de desconexión. Uno o ambos accionamientos de motor pueden conectarse a través del armario 42 de desconexión al motor 36 de accionamiento. Por lo tanto, la primera red eléctrica 21 está configurada para proporcionar energía al motor HTS 36.

La primera red eléctrica 21 también se configura para suministrar energía a cargas de energía pulsada (es decir, armas eléctricas, no mostradas) a través de un sistema de almacenamiento de energía adecuado (no mostrado) a través de un conmutador 48 de almacenamiento de energía. El conmutador 48 de almacenamiento de energía se alimenta mediante cables 47 y 49 de alimentación que en sus otros extremos se conectan al conmutador 26 y 28, respectivamente. Además, el transformador 50 conectado al conmutador 26 puede convertir 4500 V CA de la primera red eléctrica 21 a 450 V CA y alimentar esta tensión al conmutador de distribución (no mostrado) a través de un transformador 52 de energía (en determinadas circunstancias) para suministrar energía de tensión más baja a una segunda red eléctrica 53. El detalle de las cargas en la segunda red eléctrica 53 no se muestra, pero los expertos entenderán que incluyen varios sistemas de navío integrados, algunos de los cuales requieren energía limpia de Tipo 1.

Las cargas de energía pulsada pueden consistir en varios segundos (p. ej., 5 segundos) de consumo de energía muy alto (p. ej., 10 MW o más) a través del conmutador 48 de almacenamiento de energía, seguido de una pausa (p. ej., 1 segundo) sin consumo de energía. El diseño del sistema asume que este ciclo se repetirá indefinidamente. Como se ha mencionado anteriormente, tales cargas pulsadas pueden afectar severamente al funcionamiento correcto de la primera red eléctrica 21. Las cargas de energía pulsada pueden provocar una caída en la velocidad de rotación de los turbogeneradores 22 y 24, dando lugar a una caída proporcional de la frecuencia, el voltaje y la salida de energía de los turbogeneradores. En la Fig. 3 se ilustra el impacto en la velocidad de rotación de tal carga de pulsos en los turbogeneradores 22/24 que utilizan un diseño de generador HTS típico durante múltiples periodos de pulsos (suponiendo que solo uno de los turbogeneradores está operativo).

Como muestra la forma 80 de onda, las rpm del turbogenerador varían de 3600 a aproximadamente 1400 en el transcurso de unos pocos segundos con la carga pulsada inicial de 18 MW. La velocidad de rotación del turbogenerador se recupera un poco con el tiempo a medida que continúan los pulsos de 18 MW cíclicos, pero sigue sustancialmente por debajo de su velocidad de rotación inicial de 3600 rpm. En este caso, la inercia rotacional estimada del generador es aproximadamente 790 kg-m<sup>2</sup>, que se basa en el uso de un generador HTS optimizado para bajo coste para un turbogenerador de 29 MVA. En este ejemplo, el blindaje EM puede estar

hecho de acero y cobre con un espesor aproximado de 10 cm (4 pulgadas). En un diseño de peso optimizado, que puede utilizar aluminio en el blindaje EM, la inercia rotacional puede ser significativamente menor que en el diseño de coste optimizado. Esto significa que el impacto negativo de las cargas pulsadas sería incluso mayor.

5 Con inercia relativamente baja en el turbogenerador, el par impuesto durante la carga de pulsos en el turbogenerador tiene un impacto más significativo en la reducción de la velocidad de rotación. En el ejemplo de la forma 80 de onda, esto se traduce en una caída de casi el 60 % en la velocidad de rotación y una caída proporcional en el voltaje, la frecuencia y la potencia en la primera red eléctrica 21. Además, con este nivel de carga cíclica en el turbogenerador, se acorta ciertamente la vida útil de la turbina e incluso puede hacer que el motor se pare.

10 Según un aspecto de esta invención, se observó que con una mayor inercia rotacional en el generador HTS, puede reducirse el impacto del par sobre el turbogenerador. Por lo tanto, el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica según un aspecto de esta invención, mejora el rendimiento eléctrico bajo las cargas dinámicas producidas cuando se utilizan armas eléctricas. La forma 82 de onda muestra el impacto en la velocidad de rotación (aproximadamente un 30 % de caída inicial) del turbogenerador, con una carga de pulsos cíclicos de 18 MW. En este caso, el generador HTS utilizado tiene una inercia rotacional aumentada, dando lugar a una inercia rotacional de turbogenerador general de aproximadamente 1496 kg-m<sup>2</sup>. El blindaje EM puede estar hecho de acero con un espesor aproximado de 18 cm (7 pulgadas). Como es evidente a partir de la forma 82 de onda, en comparación con la forma 80 de onda, el aumento de la inercia rotacional del turbogenerador a 1496 kg-m<sup>2</sup> reduce sustancialmente el impacto de las cargas pulsadas cíclicas iniciales y posteriores sobre la velocidad de rotación del turbogenerador así como el impacto sobre la tensión, la frecuencia, y la potencia sobre la primera red eléctrica 21. Agregar una aleación de tungsteno al blindaje EM aumentaría aún más la inercia rotacional a aproximadamente 1817 kg-m<sup>2</sup>.

15 Con referencia a la FIG. 4, se muestra un generador HTS 100 de la técnica anteriordiseñado para optimizarse para el tamaño y el peso mínimos. Al igual que con el generador de inercia de rotación inferior que produjo la forma 80 de onda en la Fig. 3, este ejemplo puede tener una inercia de rotación de forma que la inercia rotacional general del turbogenerador también será de aproximadamente 790 kg-m<sup>2</sup>. El generador HTS 100 incluye una unidad de estátor 102 que tiene conjuntos 104 de bobina de estátor 1-n. Como se conoce bien en la técnica, el número específico de conjuntos 104 de bobina de estátor 1-n incluidos dentro del conjunto 102 de estátor varía dependiendo de diversos criterios de diseño, tales como si la máquina es una máquina de una sola fase o de múltiples fases. Por ejemplo, en un generador HTS trifásico de 29 MV A descrito en la presente memoria que produce 4500 V CA a 60 Hz, el conjunto 102 de estátor puede incluir setenta y dos (72) conjuntos 14 de bobina de estátor 1-n.

20 Un conjunto 106 de rotor gira dentro del conjunto 102 de estátor. Al igual que con el conjunto 102 de estátor, el conjunto 106 de rotor incluye conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n. En el mismo generador HTS trifásico de 29 MV A, el conjunto 106 de rotor puede incluir dos conjuntos de bobinado de rotor (que forman 2 polos), que pueden estar en una configuración de bobina de silla de montar, ya que son adecuadas para aplicaciones de generador de altas rpm. Pueden utilizarse también otras configuraciones de rotor, tal como una configuración de 4 polos. Estos conjuntos de bobinado de rotor generan, durante el funcionamiento, un flujo magnético que une el conjunto 106 de rotor y el conjunto 102 de estátor. Aun cuando este generador está diseñado como una máquina de dos polos, los expertos en la técnica entenderán que podrían utilizarse máquinas con distinto número de polos y el diseño particular dependerá de la aplicación. Durante el funcionamiento del generador 100, se genera un voltaje trifásico 110 en los conjuntos de bobinas de estátor 104 1-n que, a su vez, se lleva a la red eléctrica del navío como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 2. El voltaje trifásico en los conjuntos 104 de bobinado de estátor 1-n, se produce por el flujo magnético de bobinado del rotor generado por los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n que unen el conjunto 106 de rotor y el conjunto 102 de estátor, a medida que el rotor gira cuando es accionado por el eje 112 del turbogenerador.

25 Los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n pueden montarse sobre una superficie exterior de la estructura 107 de soporte que se conecta a un primer borde 109 que transfiere el par de fuerzas desde el tubo 114 del eje propulsor. Cabe señalar que los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n pueden montarse, de forma alternativa, en una estructura interior 107 de soporte de superficie. El tubo 114 del eje propulsor está conectado a un segundo borde 113, que se conecta al eje 112 del turbogenerador. Los bordes 109 y 113 pueden incorporarse en el tubo 114 del eje propulsor o pueden ser conjuntos separados. Por supuesto, pueden utilizarse otros diseños de tubos de par para transferir el par del eje 112 al conjunto de rotor en el espacio frío.

30 Durante el funcionamiento de la máquina rotatoria 100 superconductora, la energía 116 de campo, por ejemplo, procedente de una fuente de corriente CC (no mostrada) puede aplicarse al conjunto 108 de bobinado del rotor 1-n a través de un conjunto 118 de anillo deslizante/disco giratorio. Los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n, requieren corriente CC para generar el campo magnético (y el flujo magnético) requerido para unir el conjunto 106 de rotor y el conjunto de estátor 102. Los conjuntos 104 de bobinado de estátor 1-n están formados por conjuntos de bobinas de cobre no superconductoras, por ejemplo, mientras que los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n son conjuntos superconductores que incorporan bobinados HTS. Ejemplos de conductores HTS incluyen: óxido de talio-bario-

calcio-cobre; óxido de bismuto-estroncio-calcio-cobre; óxido de mercurio-bario-calcio-cobre; y óxido de itrio-bario-cobre.

Dado que estos conductores superconductores solamente consiguen sus características superconductoras cuando funcionan a temperaturas bajas, el generador HTS 100 incluye un sistema 120 de refrigeración. El sistema 120 de refrigeración es, de forma típica, en forma de un enfriador criogénico que mantiene la temperatura de funcionamiento de los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n a una temperatura de funcionamiento suficientemente baja como para permitir que los conductores muestren sus características superconductoras. Dado que los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n deben mantenerse fríos mediante el sistema 120 de refrigeración, el tubo 114 del eje propulsor puede construirse a partir de un material metálico de alta resistencia y baja conductividad térmica (tal como Inconel™) o de un material compuesto (tal como epoxi fenólico o epoxi con fibra de vidrio G-10).

El conjunto 106 de rotor incluye un blindaje electromagnético 122 situado entre el conjunto 102 del estátor y el conjunto 106 de rotor para proteger o filtrar los campos asíncronos de los armónicos producidos en el conjunto 102 de estátor. Como el conjunto 106 de rotor es, de forma típica, de forma cilíndrica, el blindaje electromagnético 122 es también de forma típica de forma cilíndrica. Es deseable proteger los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n del conjunto 106 de rotor de estos campos asíncronos. En consecuencia, el blindaje electromagnético 122, que se ajusta al conjunto 106 de rotor, cubre (o protege) los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n de los campos asíncronos y está construido con un material no magnético (p. ej., cobre, aluminio, etc.). El blindaje electromagnético 122 debe tener una longitud suficiente para cubrir completamente y proteger los conjuntos 108 de bobinado de rotor 1-n. La carcasa considerada hasta ahora es acero y una capa superior delgada de cobre con los espesores seleccionados para apantallar campos de CA y soportar cargas de fallo. El aluminio es una solución más ligera, pero el acero podría seleccionarse si el peso es de menor interés que el coste. El blindaje proporciona también confinamiento del vacío y el acero presenta una solución de sellado más simple con soldadura.

El blindaje electromagnético 122 puede conectarse de forma rígida al eje 112 a través de un par de placas 130, 132 de extremo. Esta conexión rígida puede ser en forma de una soldadura o un sistema de sujeción mecánico (p. ej., pernos, remaches, chavetas, ranuras, etc.). Para el blindaje, el espesor del blindaje electromagnético 122 varía inversamente con respecto a la frecuencia de la potencia 110 de CA trifásica, que en este ejemplo es de 60 Hertz. Para diseños de bajo número de polos, el espesor puede seleccionarse para soportar fuerzas transitorias durante el fallo. Para esta frecuencia, de forma típica, el espesor del blindaje electromagnético 122 no sería mayor que 10 cm (4 pulgadas) de acero y cobre. Para reducir el tamaño y el peso del generador, los sistemas de la técnica anterior como este minimizan el espesor del blindaje electromagnético 122 hasta el punto en que tenga un espesor suficiente para filtrar los campos asíncronos y soporte las fuerzas de ovalación de fallos en el blindaje, pero no más gruesas, para minimizar el peso y el tamaño del generador.

Aunque no se muestra en el generador 100 de la Fig. 4, puede utilizarse un núcleo ferromagnético interior (p. ej., un núcleo de hierro) para aumentar la permeabilidad magnética del rotor y, por lo tanto, puede permitir una cantidad reducida de material HTS necesario para generar un campo magnético dado. También añade inercia rotacional del generador de forma significativa. En la Fig. 5A se muestra una vista esquemática en sección transversal del generador HTS 200, que es similar al tipo de generador HTS que se muestra en la Fig. 4. La vista en sección transversal se toma a través de la anchura del generador para ilustrar las dimensiones del generador, incluyendo el espesor del blindaje electromagnético y el hueco electromagnético. En este ejemplo, el generador HTS 100a incluye un conjunto 202 de rotor que tiene un núcleo 204 de hierro interior ilustrado como un generador de dos polos. Los bobinados 206a y 206b de rotor tienen forma de bobinados de bobina de silla de montar y cada uno se muestra con dos secciones de arco, que se unen en los extremos para formar la bobina de silla de montar.

En el diseño del generador HTS 200, debe considerarse el límite en la velocidad de punta para las bobinas 206 a/b de silla de montar HTS. La carga centrífuga en las bobinas HTS produce tensión en el material superconductor. Esta tensión es proporcional al cuadrado de la velocidad de punta de las bobinas. La experiencia y el análisis indican que la velocidad periférica de 150 m/seg es un límite aceptable para tales bobinas. Los generadores para uso naval pueden requerir pruebas de sobrevelocidad de hasta un 125 % de la velocidad nominal. Para una velocidad de diseño de 3600 rpm, esto corresponde a una prueba de sobrevelocidad a 4500 rpm que requiere un bobinado de campo con un radio de ~0,32 m desde el eje longitudinal del generador hasta el plano medio de las bobinas 206a/b, que se ilustra como R1 en la Fig. 5A. Las bobinas de silla de montar están soportadas en el exterior por un cilindro 207 de soporte de bobina.

La parte no giratoria del generador 200 comienza en el radio R2, que se extiende desde el eje longitudinal del generador hasta el radio interior del estátor 208, y consiste en un estátor 208 y un hierro posterior 210. Fuera del cilindro 207 de soporte de bobina está el blindaje EM 212, que es el elemento giratorio más externo del conjunto 202 de rotor. Como se ha descrito anteriormente, protege al conjunto 202 de rotor de campos electromagnéticos que son asíncronos con respecto a la rotación para reducir las pérdidas de AC en la bobina HTS. La intensidad de campo producida por las bobinas 206a/b de silla de montar es proporcional a las vueltas por amperio en cada bobina, pero es inversamente proporcional al hueco electromagnético ("EM") (R2-R1) entre las bobinas de silla

## ES 2 900 056 T3

de montar y el estátor. Por lo tanto, aumentar el hueco EM aumenta la cantidad de vueltas por amperio y, por lo tanto, la cantidad de cable HTS necesario para generar un campo electromagnético dado.

La mayor parte del espacio EM (R2-R1) consiste en el blindaje EM 212 y en un diseño optimizado por peso o coste, el blindaje EM solo se hace lo suficientemente grueso para realizar su función de blindaje y su peso/masa se minimiza seleccionando un material de baja densidad con capacidades de blindaje. El espesor  $t$  del blindaje EM 212 es de forma general  $< 40\%$  de  $R1/p$ , donde  $p$  es la cantidad de pares de polos en el diseño ( $p=1$  para un generador de dos polos). Para este diseño, el espesor  $T$  puede ser de 10 cm (4 pulgadas) y el material utilizado para el blindaje EM puede ser un material de densidad moderada, tal como acero.

Para determinar la inercia rotacional para el blindaje EM 212, el radio interior  $R_i$  y el radio exterior  $R_o$  y una masa  $M$  se calcularían de la siguiente forma:

$$M(R_i^2 + R_o^2)/2$$

que, en este caso, es de aproximadamente  $560 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ . La inercia rotacional del blindaje EM con relación a la inercia rotacional de los otros componentes del sistema en el turbogenerador sería la siguiente:

Inercia rotacional - Diseño optimizado por coste

Blindaje EM	$560 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Hierro interno y ejes	$143 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Campo y soporte	$87 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Total Gen. Rotor	$790 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Turbina	$96 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Total	$886 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

Para este ejemplo, la inercia rotacional del blindaje EM con relación a la inercia rotacional del generador total es aproximadamente de un setenta por ciento (70%). Para los diseños optimizados de coste/peso típicos, la inercia rotacional en el blindaje EM es, generalmente,  $\leq 70\%$  de la inercia rotacional del generador HTS general (denominados en la presente descripción generadores HTS de "baja inercia").

Un generador HTS con inercia rotacional aumentada se muestra en la Fig. 5B como generador HTS 200'. Todos los componentes son esencialmente los mismos que los del generador HTS 200 de la Fig. 5A; sin embargo, construyendo un blindaje EM 212' más grueso, la inercia rotacional del generador puede incrementarse a expensas de vueltas por amperio adicionales en bobinas 206a'/b' de silla de montar. En otras palabras, se requerirá una mayor cantidad de material HTS para producir el mismo campo electromagnético en el generador 200' de HTS que en el generador 200 de HTS, ya que el hueco EM (R2' -R1') del generador 200' de HTS es mayor que el hueco EM (R2-R1), debido al aumento del espesor del blindaje EM 212'.

Para el diseño incrementado de inercia rotacional del generador 200' de HTS, el espesor del blindaje EM 212',  $t'$ , puede ser  $\geq 50\%$  de  $R1/p$ . Para este diseño, el espesor,  $t'$ , puede ser de aproximadamente 18 cm (7 pulgadas). Además de aumentar el espesor del blindaje EM para aumentar su inercia rotacional, podrían utilizarse materiales de mayor densidad. Ejemplos de tales materiales pueden incluir cobre ( $8,96 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), acero ( $7,84 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), plomo ( $11,32 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), oro ( $19,282 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), tungsteno ( $19,25 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), y uranio empobrecido ( $18,95 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). Pueden utilizarse uno o más de estos materiales para construir el blindaje EM.

Seleccionando el espesor y la composición de material adecuados del blindaje EM 212', puede adaptarse la cantidad de inercia rotacional adicional del blindaje EM para obtener las características operativas deseadas para el turbogenerador particular y el nivel y frecuencia esperados de cargas de energía pulsada.

Para determinar la inercia rotacional para el blindaje EM 212', el radio interno  $R_i'$  y el radio externo  $R_o'$  y una masa  $M'$  (mediante el uso de una combinación de acero y aleación de tungsteno, por ejemplo) se calcularían de la siguiente forma:

$$M'(R_i'^2 + R_o'^2)/2$$

que, en este caso, es de aproximadamente  $1.477 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ . La inercia rotacional del blindaje EM con relación a la inercia rotacional de los otros componentes del sistema en el turbogenerador sería la siguiente:

Inercia rotacional - Diseño optimizado por inercia rotacional

Blindaje EM	$1.477 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
Hierro interno y ejes	$151 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

## ES 2 900 056 T3

Campo y soporte	92 kg-m <sup>2</sup>
Total Gen. Rotor	1.720 kg-m <sup>2</sup>
Turbina	96 kg-m <sup>2</sup>
Total	1.816 kg-m <sup>2</sup>

5 Para este ejemplo optimizado de inercia rotacional, la inercia rotacional del blindaje EM con relación a la inercia rotacional del generador total es aproximadamente del ochenta y cinco por ciento (85 %). Para diseños optimizados de inercia rotacional típicos, la inercia rotacional en el blindaje EM puede ser, de forma general,  $\geq 80$  % de la inercia rotacional del generador HTS general (denominados en la presente memoria generadores HTS de “alta inercia”).

10 Si este diseño con un blindaje EM grueso se construyera solo con acero inoxidable en el blindaje EM, la inercia rotacional del generador seguiría siendo de 1492 kg-m<sup>2</sup> que todavía es casi el 190 % de la inercia rotacional del diseño optimizado por coste y peso. El diseño del generador HTS según esta invención tiene varias ventajas importantes; a saber, encaja dentro de una longitud axial corta, tiene una reactancia baja que evita el deslizamiento del polo en una aplicación altamente pulsada y tiene una inercia rotacional alta.

15 Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 2, se describe el resto del sistema 20 híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica. En este navío particular, hay dos salas principales de máquinas, ER1 54 y ER2 56. En ER1 54 se incluyen el turbogenerador 22 conectado al conmutador trifásico 26 y el turbogenerador 24 conectado al conmutador trifásico 28, como se ha descrito anteriormente. Además, el motor 36 de propulsión eléctrica, que en este caso es un motor HTS, también se instala en ER1 54. El motor HTS 36 se conecta al eje 55 de estribor, que acciona la hélice 57 de estribor. En la sala de máquinas ER2 56 se incluyen dos motores o motores primarios 58 y 60 de turbina de gas (p. ej., LMR2500s), cada uno de los cuales tiene un eje motor conectado al engranaje reductor principal 62. El eje 59 de babor se interconecta con el engranaje reductor principal 62, que juntos accionan el hélice 61 de babor. En el diseño original, antes de la modernización del navío con el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica, el ER1 54 habría estado equipado con dos motores o motores primarios de turbina de gas (p. ej., LMR2500s), cada uno de los cuales tendría un eje motor conectado al engranaje reductor principal, al eje motor 55 y a la hélice 57.

25 Dos turbogeneradores 64 y 66 pequeños adicionales (en un navío naval denominados generadores de turbina de gas de servicio de navío o “SSGTG”), cada salida de aproximadamente 3,9 MW de energía eléctrica se conecta a la segunda red eléctrica 53 y se incluye en el documento ER2 56 y la sala 68 de generadores, respectivamente. Bajo condiciones operativas normales, estos turbogeneradores son la fuente principal de energía para la segunda red eléctrica 53, que es una red eléctrica de distribución de 450 V para los sistemas de navíos integrados. En el diseño de navío original, los dos turbogeneradores 64 y 66 pequeños, junto con un SSGTG de 3,9 MW adicional (no mostrado), que se habría incorporado en ER1 54, proporcionarían conjuntamente suficientes capacidades de energía a la segunda red eléctrica 53. En el diseño de modernización representado en la Fig. 2, el tercer turbogenerador no es necesario debido a las capacidades de energía adicionales proporcionadas por los turbogeneradores 22/24 a través de la primera red eléctrica 21.

35 El resto de los componentes para la primera red eléctrica 21 (aparte de las unidades 24 y 26 de conmutador, el cable 30 de babor/estribor y el conmutador 48 de almacenamiento de energía) están incluidos en una primera sala de maquinaria auxiliar, tal como AMR1 58. Por supuesto, estos componentes deberán añadirse en la modernización para completar el diseño del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica según un aspecto de esta invención. La segunda sala de máquinas auxiliar, AMR2 70, no es necesaria para la instalación de los componentes en el sistema 20 híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica. Cabe señalar que los componentes del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica descritos en la presente memoria pueden instalarse en diversos lugares y disposiciones dentro del navío 10 y no es necesario instalarlos en las salas y lugares descritos en este ejemplo.

45 La topología descrita en la presente memoria proporciona el aumento de cambio de etapa requerido en energía eléctrica para incorporar sistemas de carga de pulso elevada tales como cañones electromagnéticos y láseres, que incorporan la mayoría de los beneficios de un sistema IPS puro, pero utilizando tecnología de control y eléctrica de bajo riesgo existente disponible actualmente. Esta topología y diseño minimizan el impacto de las disposiciones de navíos existentes para hacer que la solución sea posible hoy en día sin añadir longitud a la total del navío. Específicamente, con el ejemplo descrito en la presente memoria, puede lograrse un aumento de potencia de aproximadamente 12 MW (turbogeneradores de 3\*3,9 MW) a un total de más de 60 MW (generadores HTS de 2\* 29 MW y turbogeneradores de 2\*3,9 MW) en potencia eléctrica disponible sin aumentar el tamaño (longitud) del navío.

55 Esta arquitectura del sistema está diseñada para combinar o desconectar de forma selectiva funciones de carga eléctrica del navío para maximizar los beneficios de compartir energía eléctrica en un bus común, similar a un sistema IPS puro, pero con la característica de diseño crítica de separar el bus común en dos buses de navío independientes cuando se generan cargas de pulso. Por lo tanto, con un ejemplo de navío naval, durante la vaporización de navíos sin combatir, el sistema se configura en un solo bus común donde se comparte energía entre el sistema de propulsión del navío y todas las demás cargas eléctricas de navío (excepto armas de alta energía) y

60

después durante las operaciones de combate un disyuntor de circuito se abre entre el bus eléctrico principal del navío y el bus que de servicio a las armas de alta energía y a la propulsión para proteger el bus eléctrico principal del navío de los efectos de las armas. Empleando un diseño de nivel de sistemas capaz de conmutar de un bus común a dos buses aislados que sirven a motores primarios independientes y carga, se consiguen la mayoría de los beneficios del verdadero navío totalmente eléctrico (compartir energía de navíos para flexibilidad, capacidad de supervivencia y ahorro de combustible de movilidad), y el navío tiene los beneficios de un aumento significativo en la energía eléctrica disponible para accionar tanto las armas de alta energía como proporcionar energía simultáneamente al sistema de propulsión,

Además de las características anteriores, puede mejorarse de forma muy importante el ahorro de combustible del navío. Con un bus común utilizado durante las operaciones que no sean de combate, esto permite que el motor de propulsión eléctrico reciba energía del SSGTG (de forma típica solo disponible para cargas eléctricas del navío ajenas a la propulsión) para proporcionar una velocidad de navío reducida (p. ej., 1/2 velocidad) de un modo muy económico. Esto no solo ahorrará en el coste del combustible, sino que también extenderá significativamente la autonomía y el tiempo del navío en la estación.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema está diseñado para tener una disposición de bus dividido durante las operaciones de armamento (es decir, aislamiento entre la primera red eléctrica 21 y la segunda red eléctrica 53) que combina armas de pulso de alta energía y cargas de sensor junto con la propulsión de navíos en un solo bus, al tiempo que aísla la energía de combate del navío que requiere un bus de alimentación limpio (es decir, energía de Tipo I) para las otras funciones operativas del navío. El sistema también está diseñado para combinar el bus dividido en un solo bus compartido (propulsión del navío y energía de navío) durante períodos sin combate. Esto añade escalabilidad y flexibilidad a la movilidad y economía del navío. Todas las turbinas de gas principales pueden pararse y el navío puede operar en un modo de alta economía de combustible utilizando una de las unidades de ship's service gas turbine generator (generador de turbina de gas de servicio del navío - SSGTG) para accionar el motor de propulsión eléctrica HTS para el eje de estribor. De forma alternativa, los navíos de dos SSGTG podrían apagarse y la red 53 del sistema de energía del navío y la propulsión principal 36 podrían recibir energía de un único turbogenerador 22 o 24. Hay muchas otras combinaciones de SSGTG y turbogeneradores que añaden flexibilidad y capacidad de supervivencia a la energía del navío.

Los modos de operación descritos anteriormente que permite la topología de la arquitectura del sistema de la Fig. 2, se describen en mayor detalle con respecto a las Figs. 6A-6C. Como se muestra en las Figs. 2 y 6A-6C, puede proporcionarse un controlador de sistema, tal como un machinery control system (sistema de control de maquinaria - CS) 72, para controlar/accionar todos los componentes de generación de energía, de propulsión y eléctricos en ER1 54, ER2 56, AMR1 68 y EMRG 69, como se describe en los siguientes modos de operación. Recibirá comandos desde el puente del navío y las traducirá en todas las demandas de carga de propulsión para alimentar el cañón electromagnético.

En la Fig. 6A se ilustra un primer modo de operación, que muestra el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 2 en un modo activo de armas eléctricas con accionamiento eléctrico activado. El disyuntor 50 está situado en una posición "abierta", aislando de este modo la primera red eléctrica 21 de la segunda red eléctrica 53 y hace que la primera red eléctrica 21 suministre toda la energía requerida por las cargas de energía pulsada (es decir, armas eléctricas, no mostradas) a través de un sistema de almacenamiento de energía apropiado (no mostrado) a través de un conmutador 48 de almacenamiento de energía. El flujo de energía al conmutador 48 de almacenamiento de energía se indica mediante las flechas 250 y 251, cuya energía se suministra desde las unidades 26 y 28 de conmutador, respectivamente. La primera red eléctrica 21 está configurada también para proporcionar toda la energía requerida para accionar el motor HTS 36, indicado mediante las flechas 252 y 253, cuya energía se suministra también desde las unidades 26 y 28 de conmutador, respectivamente. Con los niveles de energía producidos por los turbogeneradores 22/24, la red eléctrica 21 puede suministrar suficiente energía al motor HTS 36, de forma que cuando se combina con accionamiento mecánico (operativo en este primer modo) juntos accionen los propulsores 57 y 61 (como se indica mediante las flechas 254 y 255, respectivamente) con suficiente energía para propulsar el navío 10 a una velocidad de crucero cercana al máximo, mientras que al mismo tiempo es capaz de accionar las cargas de energía pulsada.

Como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 3, las cargas de energía pulsada interrumpen la red eléctrica 21, pero los generadores HTS 25 y 27 pueden configurarse con un generador HTS de alta inercia para limitar la interrupción provocada por las cargas de energía pulsada. Además, dado que el motor HTS 36 es accionado por motores que comprenden rectificadores (38/44) e inversores (40/46), los motores pueden configurarse para acondicionar suficientemente la energía antes de suministrarla al motor HTS 36. Es probable que el nivel de interrupción de la primera red eléctrica 21 durante la activación de las cargas de energía pulsada sea demasiado significativo para alimentar la segunda red eléctrica 53 (que requiere el Tipo 1), de forma que el disyuntor 50 se coloca en una posición "abierta", como se indicó anteriormente, para aislar la primera red eléctrica 21 de la segunda red eléctrica 53. En este primer modo, la segunda red eléctrica 53 recibe energía de los turbogeneradores 64 y 66.

En un segundo modo de operación, como se ilustra en la Fig. 6B, el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica se configura en un modo de armas eléctricas inactivas con accionamiento eléctrico activado. El disyuntor

50 se pone en una posición “cerrada”, que conecta de este modo la primera red eléctrica 21 a la segunda red eléctrica 53 y provoca que la primera red eléctrica 21 suministre toda la energía requerida por la segunda red eléctrica 53, como indica la flecha 260. En este modo, los turbogeneradores 64 y 66 pueden desactivarse y, por lo tanto, puede ahorrarse el combustible normalmente requerido para dar energía a los turbogeneradores. De forma alternativa, la red eléctrica 21 puede complementar la energía a la red eléctrica 53 que funciona junto con los turbogeneradores 64 y/o 66 dependiendo de la demanda de energía procedente de la red eléctrica 53. No hay flujo de energía para el conmutador 48 de energía en este modo, ya que el conmutador está en posición abierta y las cargas pulsadas están desactivadas. En este modo, como en el primer modo, la primera red eléctrica 21 está configurada para proporcionar toda la energía requerida para accionar el motor HTS 36, indicada por las flechas 252 y 253, cuya energía también se suministra desde las unidades 26 y 28 de conmutador, respectivamente. Con los niveles de energía producidos por los turbogeneradores 22/24, la red eléctrica 21 puede suministrar suficiente energía al motor HTS 36, de forma que cuando se combina con accionamiento mecánico (operativo en este segundo modo) sean capaces de accionar los propulsores 57 y 61 (como se indica mediante las flechas 254 y 255, respectivamente) con suficiente energía para propulsar el navío 10 a su velocidad máxima de crucero, mientras que al mismo tiempo sea capaz de proporcionar energía únicamente o añadir energía a la segunda red eléctrica 53, dependiendo de la demanda de energía.

Y, en un tercer modo de operación, como se ilustra en la Fig. 6C, el sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica de la Fig. 2 está configurado para funcionar en un modo económico con el accionamiento eléctrico alimentada por los sistemas de energía de navío de la segunda red eléctrica 53 y con un accionamiento mecánico desactivado. El disyuntor 50 está situado en una posición “cerrada”, conectando de este modo la primera red eléctrica 21 a la segunda red eléctrica 53. En este modo, sin embargo, la energía de la segunda red eléctrica 53 fluye a la primera red eléctrica 21, como indica la flecha 260'. En este modo, se activan uno o ambos turbogeneradores 64 o 66 para proporcionar energía tanto a la primera como a la segunda red de energía dependiendo de los requisitos deseados de carga y velocidad del navío, 21 y 53, respectivamente. Los turbogeneradores 22 y 24 se desactivan y se abren los disyuntos de las unidades 26 y 28 de conmutador. La energía desde la segunda red eléctrica 53, como indica la flecha 260', fluye a través del conmutador 26 al rectificador 38 y al inversor 40, como indica la flecha 252, hacia el motor HTS 36 de energía. El motor HTS 36 acciona la hélice 57 como indica la flecha 254'. En este modo, las turbinas 58 y 60 de gas se desactivan y se permite la estabilización de la hélice 61. Por lo tanto, el navío 10 es propulsado solo por el motor HTS 36 que funciona a un nivel de energía reducido para propulsar el navío a aproximadamente la mitad de la velocidad.

En la Fig. 7 se muestra una vista en sección transversal del navío 10 de la Fig. 1 tomada a lo largo del navío a lo largo de las líneas A-A y desde el extremo delantero del navío representa la sala de máquinas 1 (ER1) antes de una modernización según esta descripción. Por lo tanto, en ER1 54 se muestra un engranaje reductor 62' principal, como el engranaje reductor 62 principal mostrado en ER2 56. Debido al tamaño del engranaje reductor y la interconexión requerida a las turbinas 58 y 60 de gas (mostradas en la Fig. 2), el engranaje reductor principal 62' se monta en ER1 54 a una altura  $H_1$  desde el casco 300. El eje (es decir, el eje 55, Fig. 2) se interconecta con el engranaje reductor principal 62' en el punto 62", que es el punto en el cual se mide la altura  $H_1$ .

Con referencia a las Figs. 8 y 9, ER1 54 se muestra después de una modernización según esta invención cuando el accionamiento mecánico es sustituido por dos turbogeneradores 22 y 24 y un motor HTS 36. Los turbogeneradores 22 y 24 pueden elevarse hacia la parte superior de ER1 54 para mantener los puntos de conexión existentes de entrada y escape (302a/302b, 304a/304b, 306a/306b en las turbinas 22 y 24; y 308a/308b, 310a/310b, 312a/312b en el navío). Dado el tamaño relativamente compacto del motor HTS 36, este puede montarse debajo de las turbinas 22 y 24 a una altura  $H_2$  medida hasta el punto 36', que es el punto en el cual el eje (es decir, el eje 55, Fig. 2) se interconecta con el motor HTS 36. En esta vista se muestra en líneas discontinuas el punto 62" de conexión del engranaje reductor 62' principal previamente instalado para ilustrar la diferencia de altura entre  $H_1$  y  $H_2$ . Como es más evidente en la Fig. 9, dado que  $H_1$  es mayor que  $H_2$  el ángulo,  $\Theta'$ , del eje 55 que conecta la hélice 57 al engranaje reductor 62' principal sería mayor que el ángulo,  $\Theta$ , del eje 55 que conecta la hélice 57 del motor HTS 36. Este ángulo se denomina ángulo de inclinación y cuando se reduce (en este ejemplo, de aproximadamente 5 grados a 2 grados) mejorará aún más el ahorro de combustible del navío.

Para resumir, se proporcionan las siguientes características del sistema híbrido de propulsión y energía eléctrica y mecánica según esta descripción:

- Readapta ER# 1 y AMR# 1 para proporcionar 58 MW de energía eléctrica instalada nueva en un casco de navío existente que puede utilizarse al mismo tiempo para alimentar el navío a velocidad máxima y también proporcionar 16 MW de energía eléctrica para armas.
- Añade 58 MW de energía eléctrica instalada al navío sin añadir longitud al navío
- El sistema está diseñado para tener un arreglo de bus dividido durante las operaciones con armas (que combina las cargas de arma de energía de pulsos junto con la propulsión del navío en un único bus, pero aísla la energía de combate del navío que requiere un bus de energía limpia) y aísla la energía de Tipo I limpia para las otras funciones operativas del navío.

## ES 2 900 056 T3

- El sistema también está diseñado para combinar el bus dividido en un solo bus compartido (propulsión del navío + energía del navío) durante períodos sin combatir.

5 • Añade nueva flexibilidad a la movilidad y economía del navío. Todas las turbinas de gas principales pueden apagarse y el navío puede operar en un modo de elevado ahorro de combustible utilizando una de las dos unidades de SSTGTG del navío para accionar el motor de propulsión eléctrico HTS ESTR

10 • Añade flexibilidad y capacidad de supervivencia al sistema eléctrico del navío. En vez de (3) SSGTG de 3,9 MW para proporcionar energía al bus eléctrico principal existen ahora cuatro fuentes (2) separadas de generación de energía de 3,9 MW SSGTG y (2) de 28,7 MW capaces de dar energía a este bus.

15 Aunque la descripción se ha descrito en términos de realizaciones ilustrativas, los expertos en la técnica reconocerán que la descripción puede practicarse con modificaciones en el ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Estos ejemplos son meramente ilustrativos y no pretenden ser una lista exhaustiva de todos los diseños, realizaciones, aplicaciones o modificaciones posibles de la descripción.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema híbrido de propulsión eléctrica y mecánica y energía eléctrica de navíos situado en un casco de un navío (10), que comprende:
  - 5 una primera planta (58, 62) de energía mecánica configurada para accionar exclusivamente una primera hélice (61) mediante un primer eje (59);
  - una segunda planta (36) de energía eléctrica configurada para accionar exclusivamente una segunda hélice (57) a través de un segundo eje (55);
  - 10 en donde la segunda planta de energía eléctrica incluye un motor high temperature superconductor (superconductor de alta temperatura - HTS) interconectado al segundo eje; y
  - una primera red eléctrica (21) a la cual se conecta el motor HTS para proporcionar energía al motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje; en donde el motor HTS en una segunda sala de máquinas se monta más abajo en el casco del navío que el engranaje reductor (62) principal en una primera sala de máquinas.
  
2. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 1 que incluye además al menos un sistema de armas eléctricas interconectado a y alimentado por la primera red eléctrica y una segunda red eléctrica (53) configurada para proporcionar energía al sistema eléctrico de servicio del navío;
  - 20 en donde la segunda red eléctrica está conectada a un conmutador (50) de desconexión que también está conectado a la primera red eléctrica; el conmutador de desconexión está configurado para conectar y desconectar la primera red eléctrica y la segunda red eléctrica.
  
3. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 2 en donde la segunda planta de energía eléctrica incluye al menos un generador HTS (25, 27) conectado a la primera red eléctrica a través de un primer conmutador y en donde el al menos un generador HTS es un generador HTS de alta inercia.
  
4. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 3 en donde la primera planta de energía mecánica incluye al menos un motor primario de turbina de gas o motor diesel interconectado a un engranaje reductor principal, y en donde el engranaje reductor principal está conectado al primer eje para accionar el primer hélice.
  
5. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 4 que incluye además al menos un turbogenerador de o generador diésel (64, 66) de servicio de navío interconectado a la segunda red eléctrica y un segundo conmutador que conecta al menos una carga de energía pulsada a la primera red eléctrica.
  
6. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 5 en donde la primera planta de energía mecánica está configurada para instalarse en la primera sala de máquinas del navío y la segunda planta de energía eléctrica está configurada para instalarse en la segunda sala de máquinas en el navío.
  
7. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 6 en donde en la segunda sala de máquinas en el navío se incluye el al menos un generador HTS de la segunda planta de energía y en donde el motor HTS está montado en la segunda sala de máquinas más baja en un casco del navío que el al menos un generador HTS.
  
8. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 7 en donde el engranaje reductor principal está interconectado con el primer eje en un primer ángulo y el motor HTS está interconectado con el segundo eje en un segundo ángulo, y en donde el primer ángulo es mayor que el segundo ángulo.
  
9. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 8 que incluye además un controlador (72) configurado para accionar el sistema de propulsión y energía eléctrica del navío en al menos dos modos de operación.
  
10. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 9 en donde, en un primer modo, el controlador está configurado para conectar el al menos un generador HTS y la al menos una carga de energía pulsada a la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador está configurado para abrir el conmutador de desconexión para aislar la primera red eléctrica de la segunda red eléctrica, para permitir así que la primera red eléctrica alimente el motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje y simultáneamente alimente la al menos una carga de energía pulsada.
  
11. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 10 en donde en el primer modo el controlador está configurado además para accionar la primera planta de alimentación mecánica para accionar la segunda hélice a través del segundo eje.

12. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 9 en donde, en un segundo modo, el controlador está configurado para conectar el al menos un generador HTS a y desconectar la al menos una carga de energía pulsada de la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador está configurado para cerrar el conmutador de desconexión para conectar la primera red eléctrica a la segunda red eléctrica, permitiendo de este modo que la primera red eléctrica suministre energía a la segunda red eléctrica y alimente simultáneamente el motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje.
- 5
13. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 12 en donde en el segundo modo el controlador está configurado además para accionar la primera planta de energía mecánica para accionar la segunda hélice a través del segundo eje.
- 10
14. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 9 en donde, en un tercer modo, el controlador está configurado para desconectar el al menos un generador HTS y la al menos una carga de energía pulsada de la primera red eléctrica a través del primer conmutador y el segundo conmutador, respectivamente, y en donde el controlador está configurado para cerrar el interruptor de desconexión para conectar la primera red eléctrica a la segunda red eléctrica, lo que permite así que la segunda red eléctrica suministre energía a la primera red eléctrica y simultáneamente alimente el motor HTS para accionar la segunda hélice a través del segundo eje.
- 15
- 20
15. El sistema de propulsión y energía eléctrica de navíos de la reivindicación 14 en donde en el tercer modo el controlador está configurado además para finalizar la operación de la primera planta de energía mecánica y para permitir que la segunda hélice a se establezca a través del segundo eje.

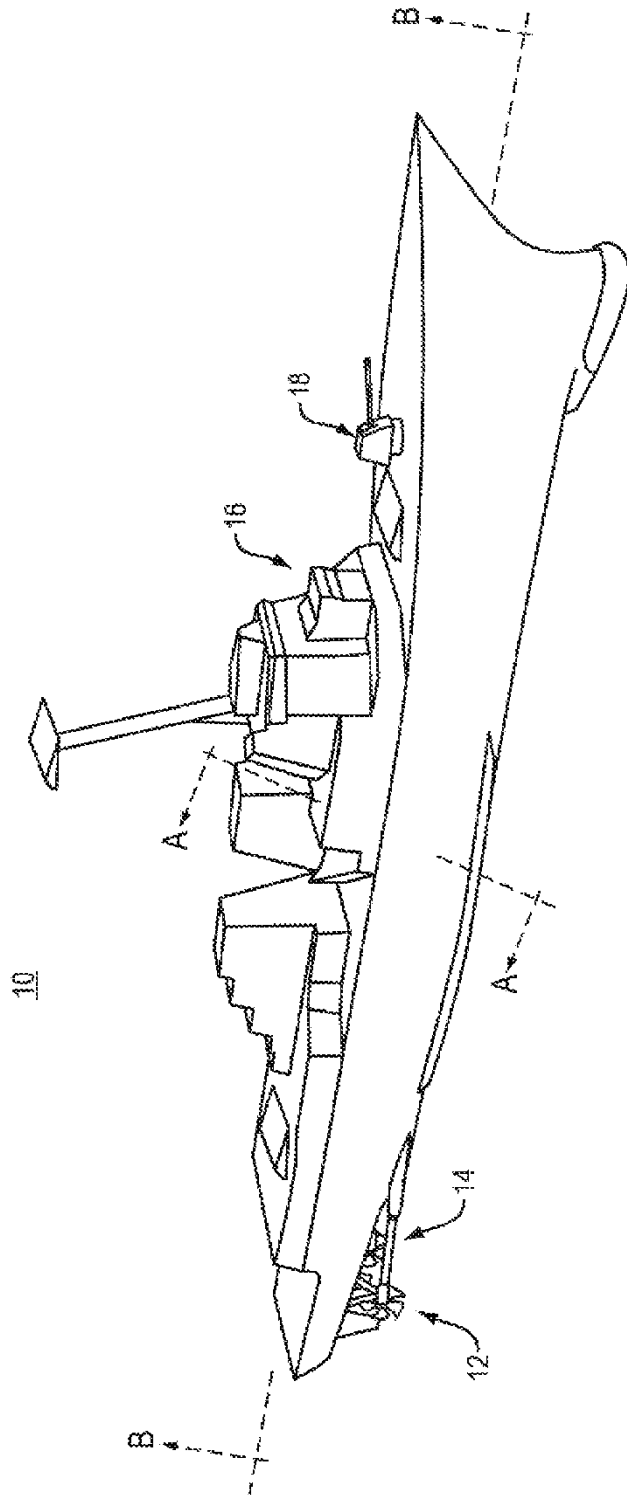


Fig. 1

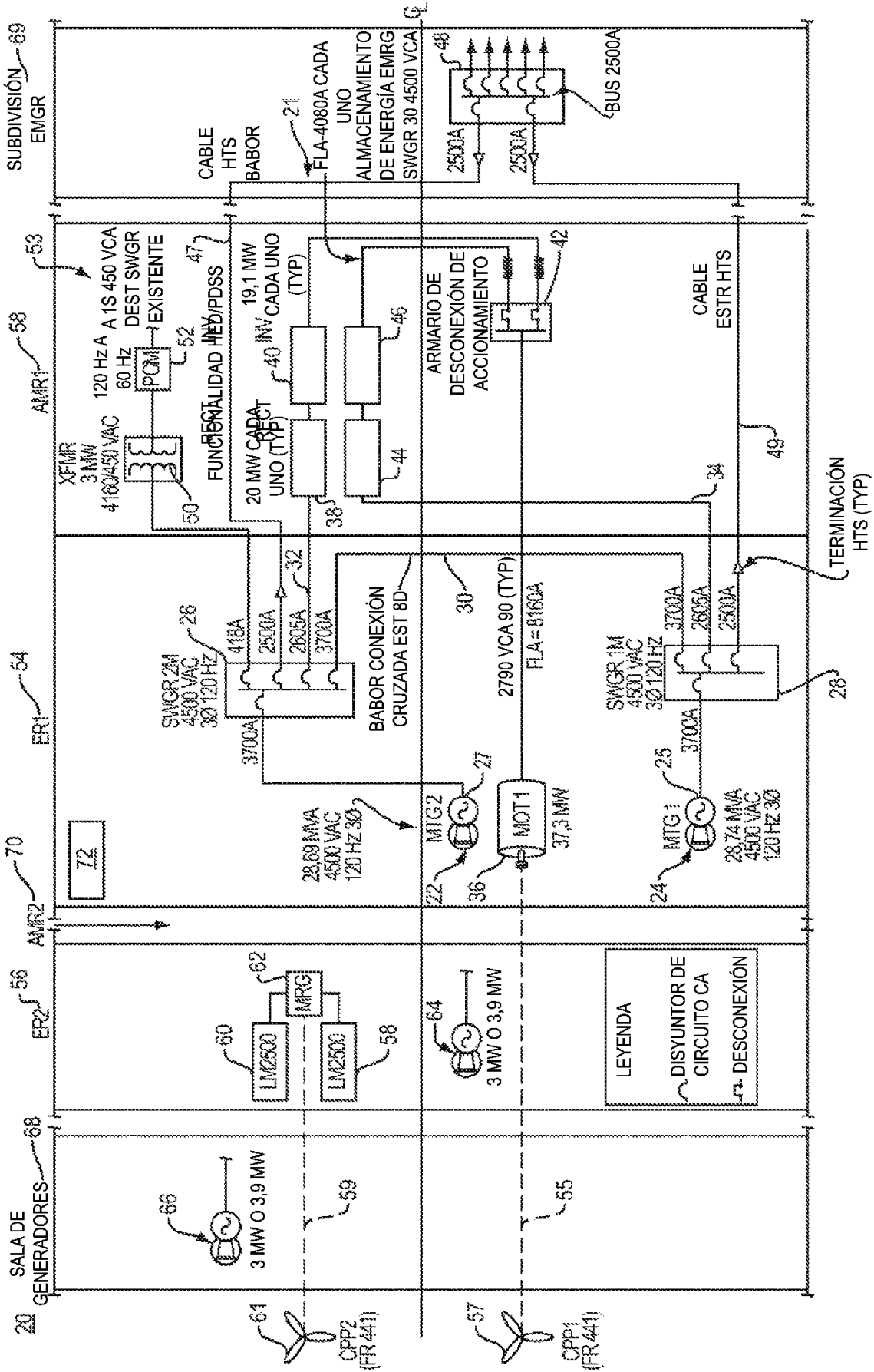


Fig. 2

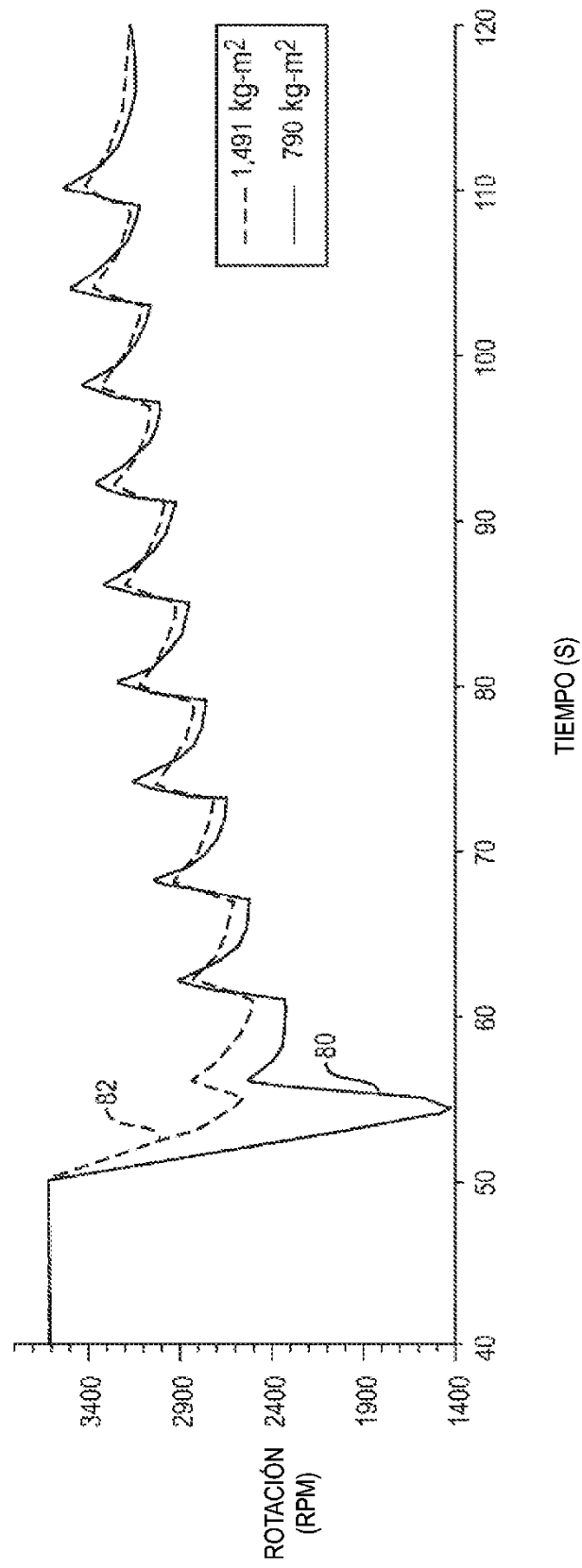


Fig. 3

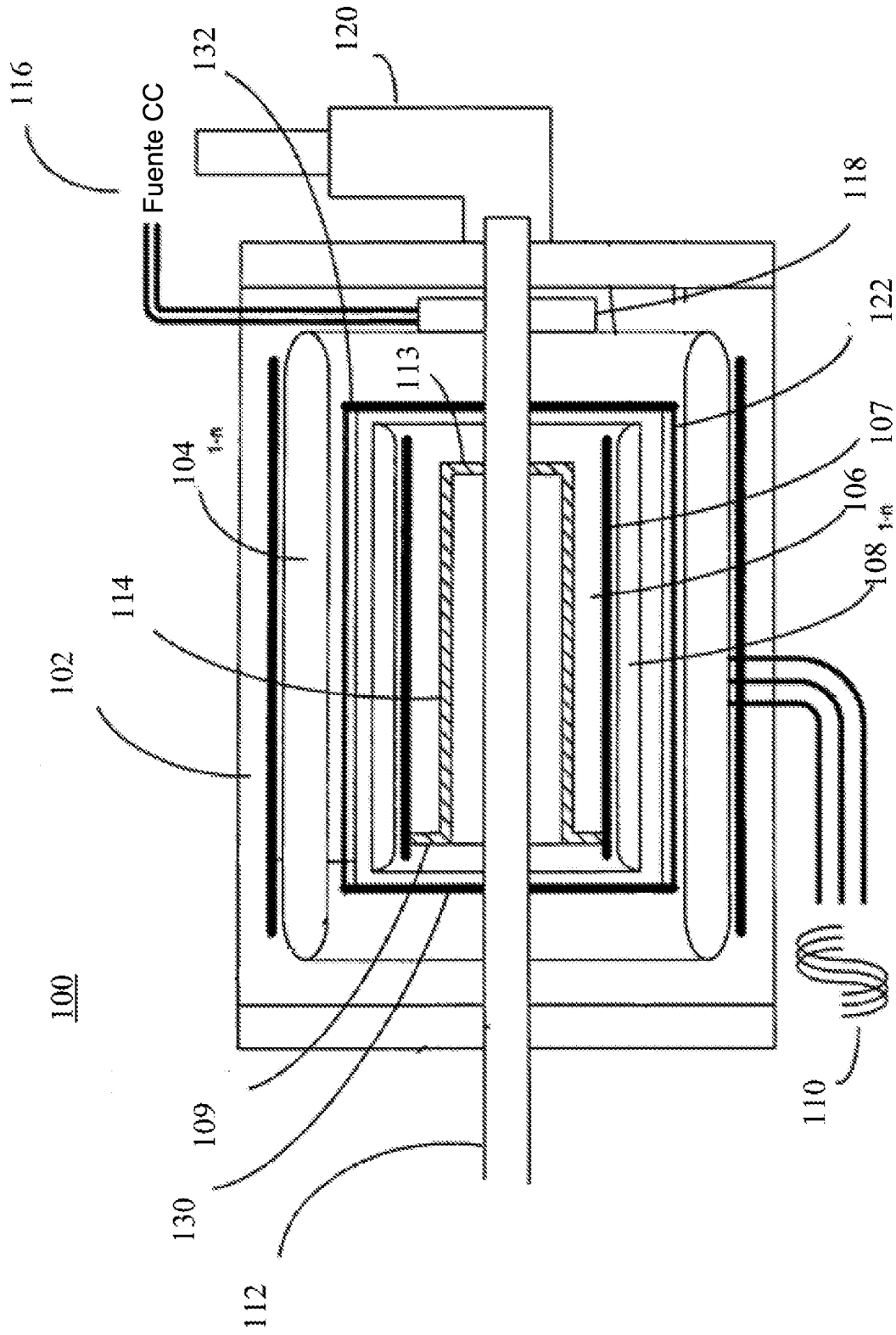


Fig. 4

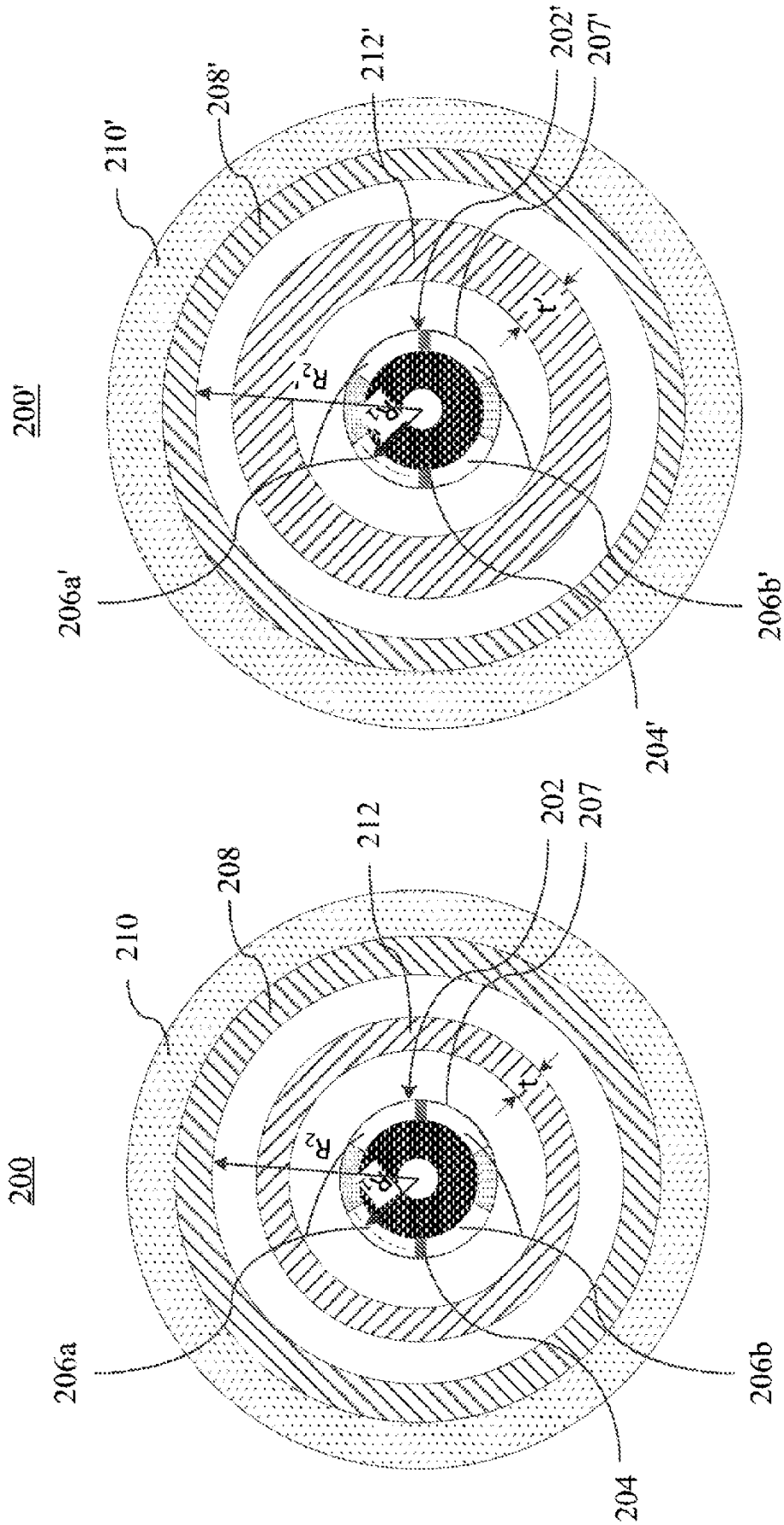


Fig. 5B

Fig. 5A

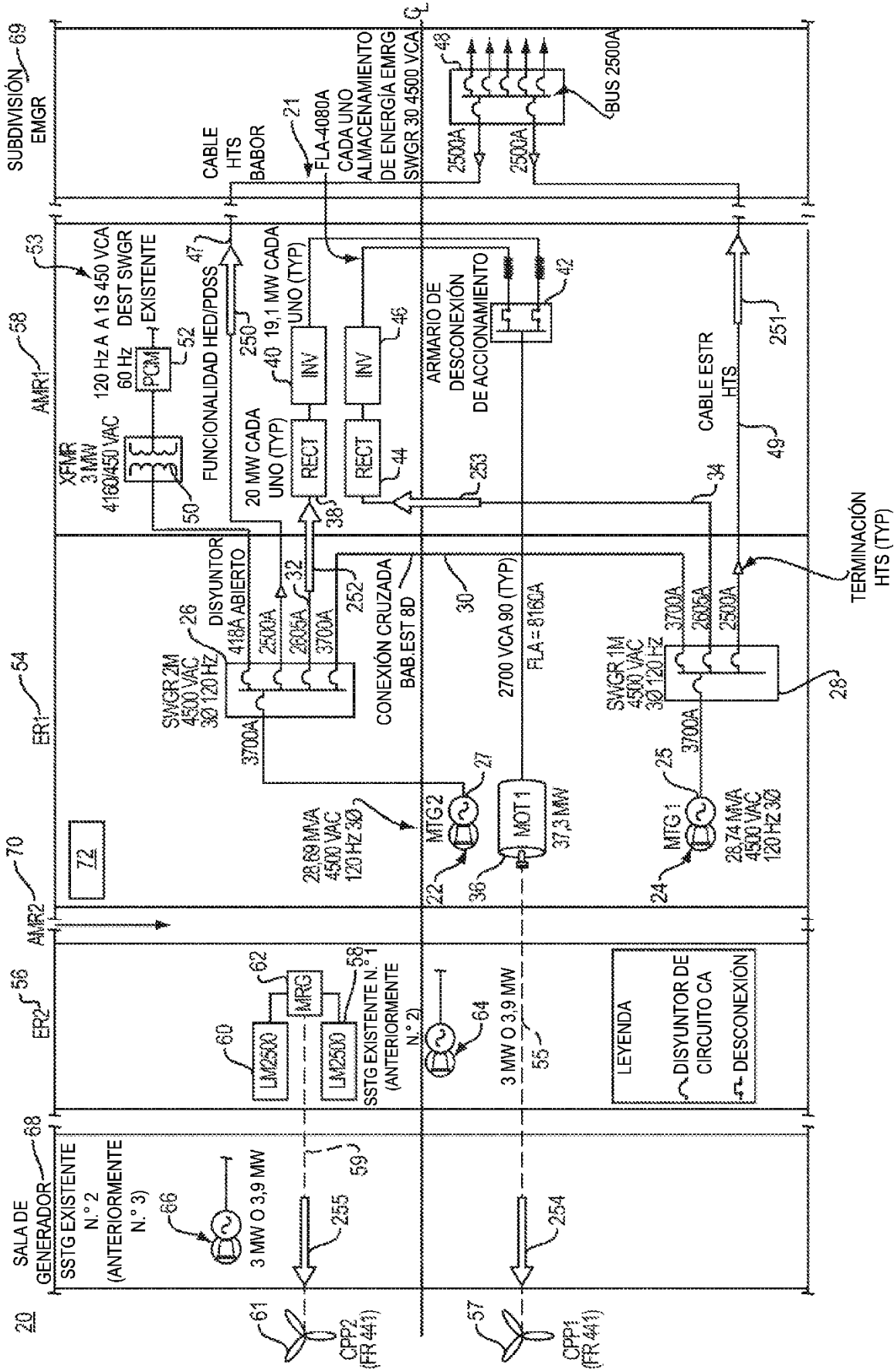


Fig. 6A



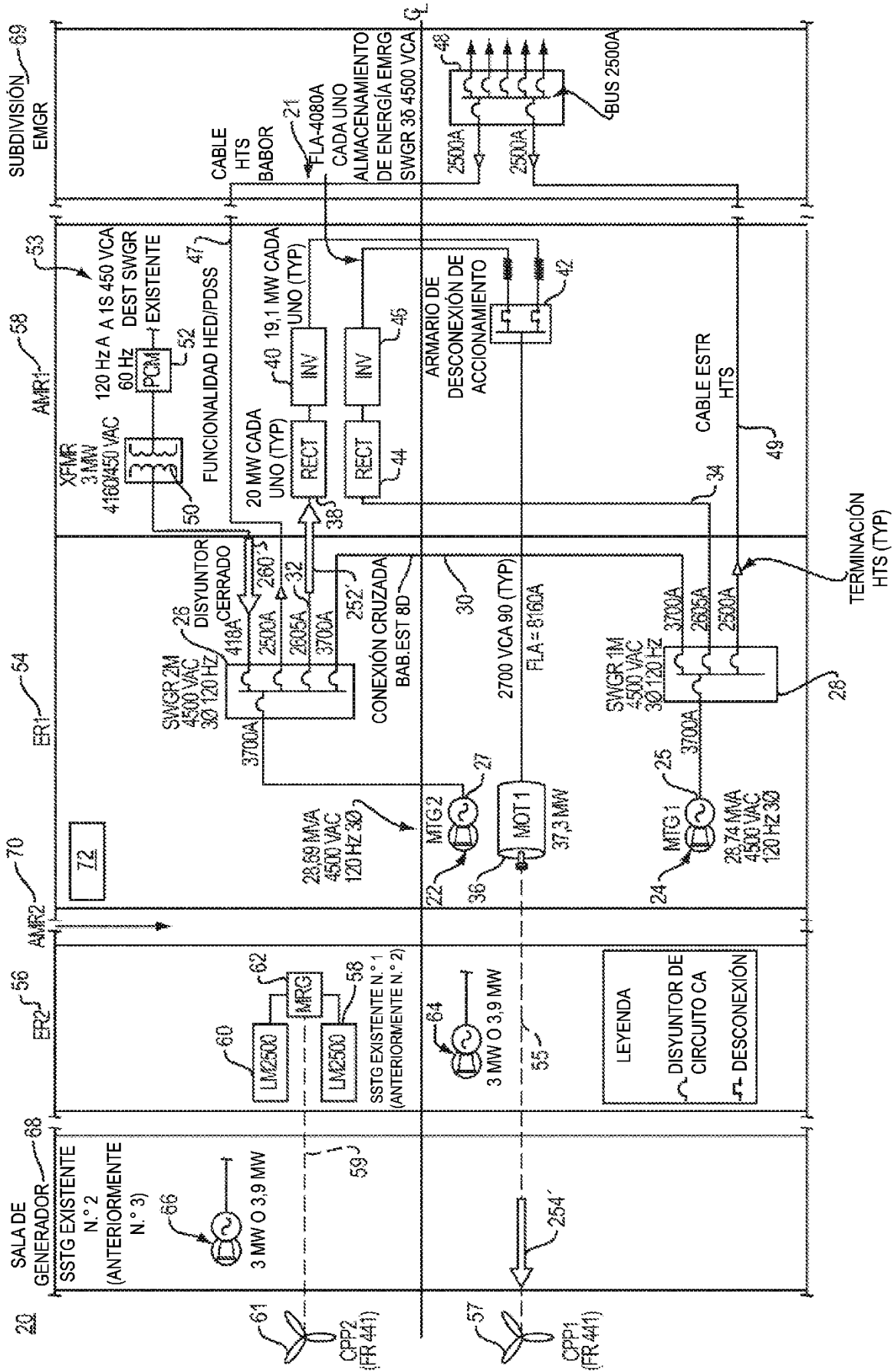


Fig. 6C

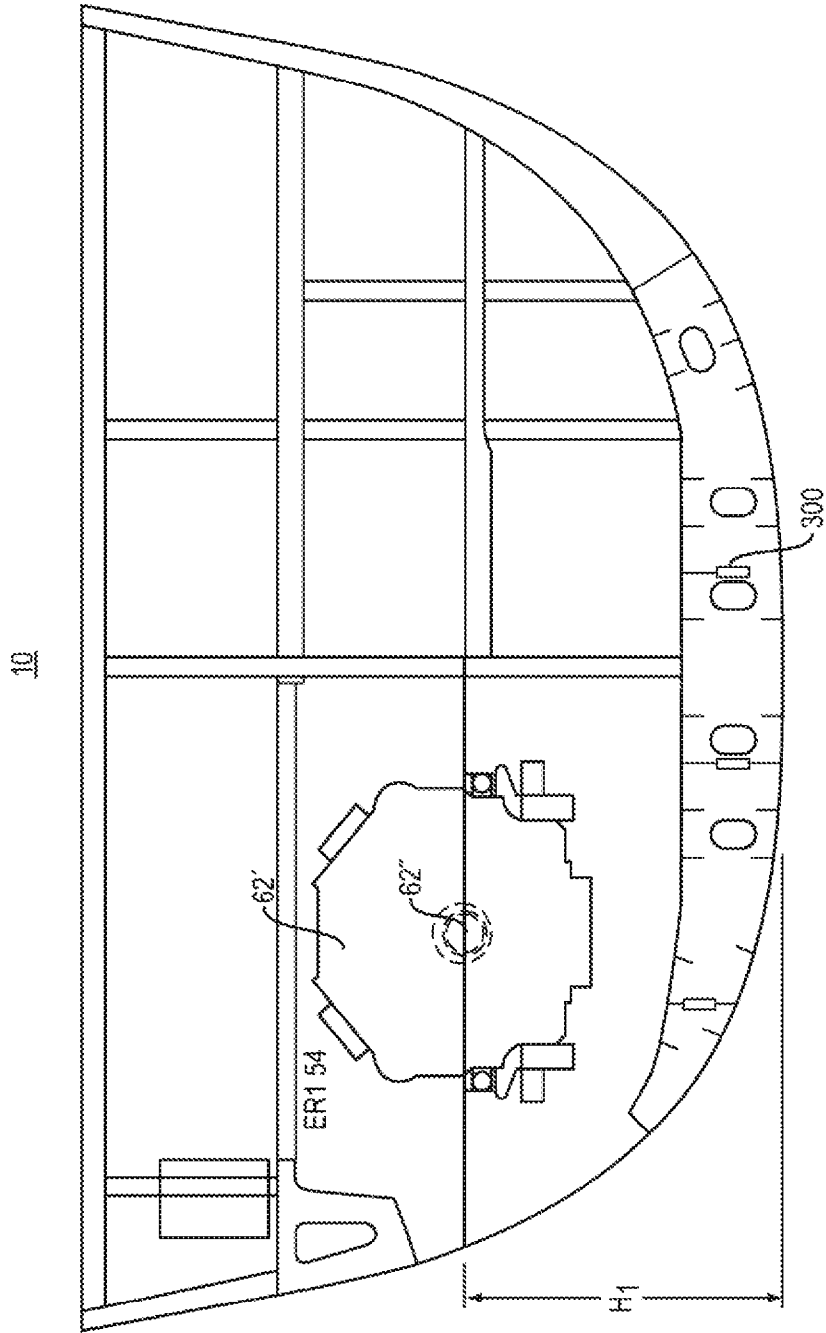


Fig. 7



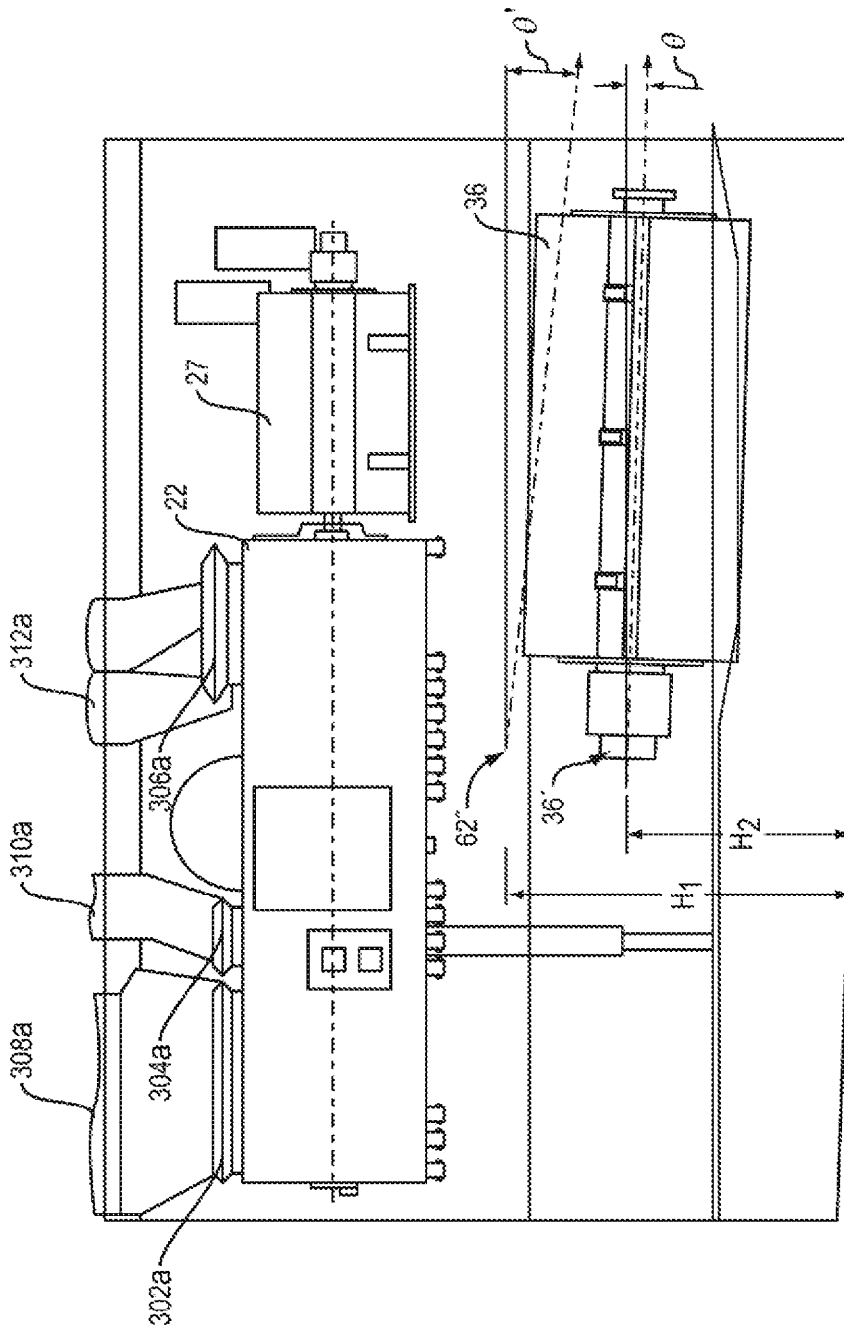


Fig. 9