Peligros de la "alta tensión" en los "buques"

Por R. Villa, Dr. I. N. nº 2943

Figura 1. Buque eléctrico de alta tensión Juan Carlos I

La energía eléctrica es indispensable para el funcionamiento de los buques, ya que junto con los circuitos hidráulicos, hace que por ejemplo se mueva el timón o que funcionen numerosos aparatos auxiliares. Esta energía además suministra alumbrado y fuerza para mover el barco, y acciona los sistemas de radio, radar, etcétera. La energía la suministran las plantas generadoras eléctricas, que pueden estar constituidas por sistemas de corriente alterna o continua. Hasta hace unos años, la mayoría de los buques mercantes tenían una instalación eléctrica trifásica, de 440 voltios (V), tensión que pertenecía a la categoría denominada de "Baja Tensión (BT)", que servía para satisfacer las demandas de motores de potencia media.

Pero las cosas están cambiando con la llegada de los grandes transatlántico y la propulsión eléctrica, por lo que están apareciendo en los buques voltajes superiores a 1.000 V, que se denominan de "Alta Tensión", y que exigen procedimientos estrictos de seguridad. El buque de proyección estratégica Juan Carlos I es un ejemplo de buque con propulsión eléctrica.

Motivos de la aparición del alto voltaje

Debido al continuo aumento del tonelaje de los barcos y, en consecuencia, de la potencia requerida en los mismos, la tensión de suministro habitual de 440 V se fue elevando. Inicialmente hasta 690 V y, posteriormente por encima de los 1.000 V, debido a la dificultad de operar con valores de corriente nominal y de cortocircuito, cada vez mayores.

Entre otras razones específicas por las que se han empezado a requerir tensiones mayores se podrían destacar las siguientes:

- Desarrollo de buques más grandes para el transporte de contenedores, particularmente contenedores frigoríficos.
- Transporte de gas con exigencia de alta refrigeración de la carga.
- Demandas de energía de los grandes transatlántico.
- Aparición de la propulsión eléctrica.

Probablemente la aparición de la propulsión eléctrica con gran demanda de energía haya sido uno de los principales motivos por los que se esté apostando por acompañarla de la alta tensión. Hay que recordar que en propulsión eléctrica, los motores diésel en lugar de ir directamente acoplados al eje o ejes propulsores, accionan alternadores que producen la energía eléctrica necesaria para la propulsión y todos los demás servicios del buque. En concreto la propulsión se efectúa por medio de motores eléctricos situados próximos a la hélice, evitando así los largos ejes de transmisión tradicionales.

En el caso del portaaeronaves *Juan Carlos I* (*JCI*), el timón tradicional fue sustituido por un mecanismo denominado POD (propulsión azimutal). Los POD son unidades sumergidas que contienen un motor eléctrico, cuyo eje está unido directamente a la hélice, y que pueden girar libremente 360° según un eje vertical. Este buque se impulsa por dos PODs, unos motores de hélice situados en la parte sumergida de la popa. Cada uno de estos motores tiene unas hélices a proa, para el trabajo de tracción, y a popa, para que el barco avance, y cada hélice cuenta con tres palas de paso fijo, por lo que suman un total de doce. Destacar, a modo anecdótico, que las palas originales de los PODs del *JCI* tuvieron que ser sustituidas, por problemas de vibraciones y de cavitación, por otras nuevas. Y en la actualidad, dos de esas palas originales, custodian la entrada al Museo de la Construcción Naval.

El sistema de propulsión POD tiene más ventajas que otros sistemas convencionales de propulsión disponibles hoy en día, ya que por un lado permite elegir el lugar de instalación de los grupos generadores (utilizando espacios mucho más reducidos), y por otro lado posee buenos rasgos de funcionamiento dinámico y excelentes características de maniobrabilidad.

La planta de generación eléctrica del *JCI* se compone de dos diésel generadores y una turbina de gas, que accionan unos alternadores que permiten obtener una tensión de 6.600 voltios. Al tratarse de un buque todo eléctrico, se estima un consumo en operaciones superior a los 20 MW, consumo muy elevado en comparación

Figura 2. POD del buque Juan Carlos I

Figura 3. Dos palas de los POD del buque Juan Carlos I en EXPONAV

con otros buques de la Armada. La distribución de energía de 6.600 Voltios del buque se lleva a cabo con cableado de nueve centímetros de diámetro (grosor fuera de lo habitual) que se encuentra instalado por todo el buque. Desde los cuadros principales de 6.600 V se alimentan directamente los dos motores propulsores (POD), dos empujadores de proa y ocho transformadores de 6.600/440 V que alimentan a seis centros de distribución de 440 V.

Ventajas y desventajas de la alta tensión

Entre las ventajas que podrían emanar de una instalación de alta tensión ("AT" o "HV", de las siglas en inglés), se podrían destacar algunas relacionadas con la bien conocida "ley de ohm". Según esta ley, la corriente (para una potencia dada) se reduce a medida que aumenta el voltaje. Por ejemplo, para alcanzar una potencia de "880 kW", que sería la necesaria para que pudiera navegar el ferry eléctrico más grande del mundo (por cierto, que comenzó a navegar en septiembre de 2019 por Dinamarca), se necesitarían "440 V", y "2.000 A". Pero también podría conseguir esa misma potencia con "1.100 V" y "800 A"; o con "11.000 V" y "80 A".

Como se puede observar, aumentando mucho la tensión, es posible reducir la intensidad de corriente. Esto se realiza porque cuando se conectan grandes cargas al sistema de BT, la magnitud del flujo de corriente se hace demasiado grande, lo que provoca un sobrecalentamiento debido a las altas pérdidas de hierro y cobre.

Por lo tanto, al trabajar en alta tensión se puede reducir significativamente el tamaño total relativo y el peso de los equipos de energía eléctrica. Por ello las máquinas de alto voltaje tienen un tamaño y peso muy reducidos en comparación con el que tendrían si se quisiera obtener esa potencia con bajo voltaje.

La reducción de peso y espacio para la maquinaria supone muchos beneficios, y entre ellos, el de disponer de mayor espacio para la carga. Además el uso de la propulsión eléctrica reduce aún más el tamaño de la sala de máquinas, por lo que de nuevo se obtiene más espacio para la carga. La principal desventaja percibida por el usuario cuando se trabaja en una instalación de alto voltaje es la exigencia de procedimientos muy estrictos de seguridad.

Resumiendo, se podrían destacar las siguientes ventajas:

- Reducción del tamaño de generadores, motores y diámetro de los conductores.
- Ahorro de espacio y peso.
- Mayor facilidad de instalación, y reducción del coste de instalación.
- Menores pérdidas de energía.
- Reducción de los niveles de cortocircuito en los sistemas.
- Para una potencia dada, la corriente desciende con el aumento del voltaje.

Y los siguientes inconvenientes:

- Necesidad de requisitos más exigentes de aislamiento para cables y equipos utilizados en el sistema, lo cual aumenta también en parte el coste total de la instalación en el buque.
- Mayor factor de riesgo y la necesidad de estrictos y rigurosos procedimientos de seguridad con el fin de evitar quemaduras, choques o caídas por arco eléctrico.

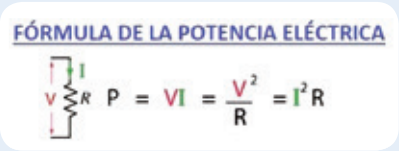

Figura 4. Fórmula de ley de Ohm

- Mayor posibilidad de que se produzcan incendios o explosiones al efectuarse arcos eléctricos en presencia de atmósferas inflamables.

Clasificación de las instalaciones de alta tensión

El artículo 3 del RD 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-RAT), y cuyo primer objetivo es el proteger a las personas y la integridad y funcionalidad de los bienes que pueden resultar afectados, establece que las instalaciones eléctricas incluidas en ese reglamento se clasificarán, atendiendo a su tensión nominal, en las categorías siguientes:

- Categoría especial: Las instalaciones de tensión nominal igual o superior a 220 kV y las de tensión inferior que formen parte de la Red de Transporte de acuerdo con lo establecido en la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Primera categoría: Las de tensión nominal inferior a 220 kV y superior a 66 kV.
- Segunda categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV.
- Tercera categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.

El RD también establece que si en una instalación existen circuitos o elementos en los que se utilicen distintas tensiones, el conjunto de la instalación se considerará, a efectos administrativos, referido al de mayor tensión nominal; y también indica que la frecuencia nominal obligatoria para las redes de transporte y distribución será de 50 Hz.

Destacar también que el artículo 5 de este RD indica que **las disposiciones del reglamento se aplicarán a las instalaciones eléctricas** de alta tensión, entendiéndose como tales las de corriente alterna trifásica de frecuencia de servicio inferior a 100 Hz, **cuya tensión nominal eficaz entre fases sea superior a 1 kV,** lo que indica que tal como se indicó en el encabezamiento de este artículo, se considerará "alta tensión" a aquella superior a 1 kV, siendo la inferior a ese voltaje denominada de "baja tensión", y desapareciendo de esta forma la denominación tradicional de "media tensión".

Certificado de suficiencia en alto voltaje

El Ministerio de Fomento publicó el año pasado la resolución de 8 de febrero de 2018, de la Dirección General de la Marina Mercante, por la que se determinan las condiciones para la obtención del **certificado de suficiencia en alto voltaje**, al objeto de determinar las condiciones para la obtención de dicho certificado, regulado por el Código de formación, titula-

ANEXO II

MINISTERIO DE FOMENTO-ESPAÑA
DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

MINISTRY OF DEVELOPMENT-SPAIN
General Directorate of Maritime Affairs

CERTIFICADO DE SUFICIENCIA otorgado a: [.....], DNI/Pasaporte [.....],
nacido el [dd/mm/aaaa], por haber cumplido los requisitos establecidos en la Regla [.....]
del CONVENIO INTERNACIONAL SOBRE NORMAS DE FORMACIÓN, TITULACIÓN Y GUARDIA PARA LA GENTE DE MAR (STCW/1978 ENMENDADO)
y del Código de Formación en la especialidad de:

ALTO VOLTAJE
Limitaciones del certificado: (ninguna)

The Government of Spain certifies that the present certificate is issued to: [.....], DNI/Passport number [.....],
date of birth [dd/mm/aaaa], who has been duly qualified in accordance with the provisions of Regulation [.....]
of the INTERNATIONAL CONVENTION ON STANDARDS OF TRAINING, CERTIFICATION AND WATCHKEEPING FOR SEAFARERS,
(STCW/1978 AS AMENDED) and the STCW Code and has been found competent as:

High Voltage
Limitation applying: (none)

Expedido en Madrid a [dd] de [mes] de [año]
Date of issue

Número de registro: [.....]
Number of registry

Firma de la
Sign of the Holder

El Director General de la Marina
General Director of Maritime Affairs

El Jefe de Área de Formación Marítima
Head of the Unit of STCW
(dd/mm/aaaa)

Figura 5. Certificado de suficiencia de AV

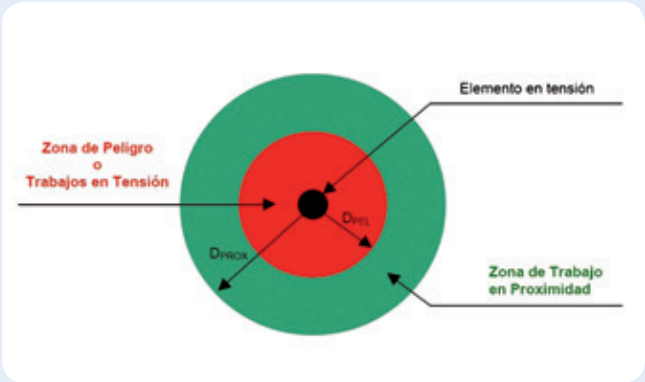

Figura 6. Zonas de peligro y proximidad en AT

ción y guardia para la gente de mar que figura como anexo al Convenio STCW, que **tienen que poseer los jefes y oficiales de máquinas, así como los oficiales electrotécnicos a bordo de los buques mercantes españoles con un sistema de alto voltaje (AV).**

La resolución indica que se exigirá la posesión del certificado de suficiencia de AV a todos aquellos oficiales que posean un título de competencia del departamento de máquinas de conformidad al Convenio STCW y vayan a prestar servicios en **buques con un sistema de AV**, entendiéndose por éste, aquel que genera, transforma o distribuye corriente eléctrica, **a una tensión de 1.000 Voltios o superior**. No se incluyen aquellos sistemas donde el AV se utiliza localmente, por ejemplo sistemas de encendido, transmisión de radio, radar y otros equipos de navegación.

Además indica que la posesión del certificado de suficiencia de AV habilitará para operar sistemas eléctricos, electrónicos y de control de AV, así como gestionar instalaciones, reparaciones de averías y la restauración de los equipos eléctricos a condiciones operativas de los sistemas de AV, conforme a lo establecido en las reglas correspondientes del Convenio STCW.

Destacar, para finalizar este apartado, y en referencia al certificado de suficiencia de Alto Voltaje, que según lo que establece la resolución, **no tiene caducidad,** a diferencia de lo que ocurre con la mayoría de los certificados de especialidad de marina mercante, que sí la tienen. De momento existen pocos centros en España homologados para realizar este curso de cuarenta horas de duración. En concreto, se realizaron tres cursos (en junio, julio y septiembre de 2019), en la sede del Colegio de Oficiales de Marina Mercante en A Coruña, y está previsto que se realicen otros en el último trimestre del año.

Protección frente a riesgos eléctricos

El RD 614/2.001 (publicado en el BOE 148 del 21 de Junio de 2.001), tiene por objeto la protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, aplicándose a todos los lugares donde exista éste, ya sea el derivado de las propias instalaciones eléctricas o de los trabajos que se realicen en ellas o sus proximidades, tanto de AT como de baja tensión (BT). En el caso de los "trabajos", se regulan con cierto detalle las técnicas y procedimientos para:

- Dejar una instalación sin tensión, antes de realizar un trabajo, y reponer la tensión, al finalizarlo.
- Trabajar en instalaciones en tensión.
- Realizar maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones eléctricas.
- Trabajar en proximidad de elementos en tensión (incluidas las líneas eléctricas aéreas o subterráneas).
- Trabajar en emplazamientos con riesgos de incendio o explosión, o en los que pueda producirse una acumulación peligrosa de carga electrostática.

Asimismo, el RD 614 indica que las técnicas y procedimientos empleados para trabajar en instalaciones eléctricas, o en sus proximidades, se establecerán teniendo en consideración la evaluación de los riesgos que el trabajo pueda suponer, habida cuenta de las características de las instalaciones, del propio trabajo y del entorno en el que va a realizarse. De la misma forma indica que los trabajadores deberán poseer una determinada formación dependiendo del grado de peligrosidad de los trabajos. En concreto, en el caso de aquellos trabajadores cuyos cometidos sean instalar, reparar o mantener instalaciones eléctricas, se mencionan tres tipos de trabajadores, definidos en función de la formación o cualificación que deben poseer, y que son los siguientes: trabajador autorizado, trabajador cualificado, y Jefe de trabajo.

Para finalizar este artículo, indicar que este RD también define la zona de peligro o zona de trabajos en tensión. Concretamente se refiere a ella como un espacio alrededor de los elementos en tensión en el que la presencia de un trabajador desprotegido supondría un riesgo grave e inminente de que se produzca un arco eléctrico, o un contacto directo con el elemento en tensión, teniendo en cuenta los gestos o movimientos normales que puede efectuar el trabajador sin desplazarse. Los valores de los límites de estas zonas, diferenciados en dos zonas de peligro y otras dos de proximidad, se expresan en centímetros en la Tabla 1, dependiendo de las tensiones (Un) a las que están sometidas, expresadas en Kv (columna vertical de la izquierda). ■

Tabla 1. Distancias límite de las zonas de trabajo *

Un	DPEL-1	DPEL-2	DPROX-1	DPROX-2
≤1	50	50	70	300
3	62	52	112	300
6	62	53	112	300
10	65	55	115	300
15	66	57	116	300
20	72	60	122	300
30	82	66	132	300
45	98	73	148	300
66	120	85	170	300
110	160	100	210	500
132	180	110	330	500
220	260	160	410	500
380	390	250	540	700

Tabla 1. Distancias límite de las zonas de peligro